

Кудрявцев Павел Степанович

Курс истории физики



Курс истории физики

Курс истории физики предназначен для студентов педагогических институтов. В нём изложена история мировой физики от древности до наших дней. Книга состоит из трёх частей. В первой освещена история становления физической науки, заканчивающейся Ньютоном. Последняя, третья часть посвящена истории становления квантовой, релятивистской и ядерной физики.

Кудрявцев Павел Степанович

Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по физ. спец. - 2 изд., испр. и доп. - М. : Просвещение, 1982. - 448 с., ил

Павел Степанович Кудрявцев (1904-1975)

Павел Степанович Кудрявцев – один из известных советских специалистов по истории физики – вырос в семье сельских учителей; родители помогли ему получить среднее образование и с детства привили вкус к науке и искусству.

Будучи студентом физико-математического факультета Московского государственного университета, П. С. Кудрявцев выделялся среди товарищей исключительной памятью, способностью легко схватывать новые идеи, готовностью обсуждать их в коллективе, помогая окружающим усваивать неизвестный, иногда очень сложный материал. Живой, увлекающийся, П. С. Кудрявцев делил свое время между физикой, историей, театром и поэзией. Он и сам писал неплохие стихи.

После окончания МГУ (в 1929 г.) П. С. Кудрявцев работал в педагогических институтах Горького и Орла; с 1946 г. до кончины он преподавал в Тамбовском педагогическом институте, в котором возглавлял кафедру теоретической физики. Там он организовал курс истории физики, развернул единственный в стране музей по истории физики, создал школу молодых историков науки и добился открытия аспирантуры по этой дисциплине.

В 1944 г. за книгу о Ньюtone ему была присуждена ученая степень кандидата, а в 1951 г. – за первый том «Истории физики» – ученая степень доктора физико-математических наук.

Главный труд всей жизни П. С. Кудрявцева – трехтомная «История физики»; ее первый том появился в 1948 г., третий – в 1971 г. В ней была охвачена вся физика – от

древних времен до наших дней. Автор впервые попытался осветить материал с марксистских позиций; одновременно в книге отдавалось должное русским физикам, чьи работы часто замалчивались иностранными историками.

При многих положительных качествах «Истории физики» и богатстве включенного в нее материала она, конечно, не могла быть учебным пособием по курсу истории физики (хотя бы из-за громадного объема).

Поэтому в последующие годы П С Кудрявцев пишет «Историю физики и техники» (совместно с И Я Конфедератовым), а затем 1974 г «Курс истории физики» для студентов педагогических институтов В этом курсе П С Кудрявцев учел недостатки и положительные стороны своих предшествующих работ и примерно в 2 раза сократил материал, включенный в «Историю физики»

Работникам педагогических институтов, школ, а также студентам и учащимся знакомы и другие труды П С Кудрявцева – книги о Торричелли, Фарадее и Максвелле, статьи и выступления по вопросам истории физики Работы П С Кудрявцева известны за рубежом В знак признания его научных заслуг он был избран членом-корреспондентом Международной Академии истории наук.

Всю жизнь П С Кудрявцев ратовал за введение истории физики в учебные планы физических факультетов педагогических институтов Будем же надеяться, что переиздание «Курса истории физики» послужит толчком для воплощения в жизнь заветной мечты Павла Степановича.

Профессор, доктор физико-математических наук Н Н Малов

Предисловие к первому изданию

В настоящее время имеется достаточно книг советских и зарубежных авторов, излагающих историю физики от древности до наших дней Тем не менее издательство «Просвещение» предложило автору написать однотомный курс, который мог бы служить учебным пособием по истории физики для студентов педагогических институтов.

Главная трудность в преподавании истории физики заключается в диспропорции между ее огромным материалом и количеством часов, отводимых на изучение этого предмета Если говорить обо всем понемногу, то курс превратится в каталог имен и открытий и в лучшем случае может выполнить роль справочника по истории физики Если, как это часто предлагают, сосредоточить внимание на одной части курса, например на истории современной физики, то получается искаженная, односторонняя картина развития физической науки Между тем будущему учителю необходимо иметь достаточно полное представление о развитии науки, начиная с ее возникновения и кончая современным состоянием Ему приходится рассказывать учащимся об Архимеде и Эйнштейне, о Ньюtone и Резерфорде, о Ломоносове и Курчатове Эти сведения, по крайней мере в главных чертах, он должен получить из «Курса истории физики» Поэтому в предлагаемой книге дана картина развития физики на всем протяжении ее истории.

Книга состоит из трех частей В первой из них изложена история становления физической науки, начиная с накопления основных физических сведений в процессе повседневного опыта и кончая физикой Ньютона.

Во второй части рассмотрена история развития основных направлений классической физики в XVIII–XIX вв.

Последняя, третья часть посвящена изложению ведущих направлений физики XX в теории относительности, теории квантов, атомной и ядерной физике.

В книге достаточно полно раскрыта история формирования основных физических идей, приведены выдержки из трудов классиков физической науки, биографические сведения.

Введение

Основная задача всякой науки – открыть законы, действующие в той области, которой занимается эта наука. Основная задача истории науки заключается, таким образом, в том, чтобы найти законы, управляющие развитием науки. Может показаться на первый взгляд, что таких законов не существует. Нельзя предвидеть появление Архимедов. Ньютонов. Лобачевских, нельзя управлять мышлением и творчеством ученого. История науки внешне представляется как результат неконтролируемой деятельности отдельных гениальных мыслителей, поведение которых нельзя уподоблять поведению какого-нибудь камня, падающего в поле тяготения. Бесспорно, что наука – продукт деятельности людей, притом наиболее сложной и тонкой деятельности: познавательной, творческой. Однако развитие науки происходит в определенных исторических условиях, играющих важную, определяющую роль, и эти условия доступны научному анализу.

Исторический материализм впервые сделал возможным научное познание исторического развития человечества, открыл реальную основу деятельности людей, в том числе основу их духовной деятельности. Такой реальной основой является способ производства материальных благ, необходимых для существования каждого человека и всего человеческого общества. Именно процесс производительной трудовой деятельности сыграл решающую роль в выделении человека из стада животных, в развитии его познания и социальных условий его бытия. Энгельс писал в своей работе «Роль труда в процессе превращения обезьяны в человека»: «Самый труд становился от поколения к поколению более разнообразным, более совершенным, более многосторонним. К охоте и скотоводству прибавилось земледелие, затем прядение и ткачество, обработка металлов, гончарное ремесло, судоходство. Наряду с торговлей и ремеслами появились, наконец, искусство и наука; из племен развились нации и государства».(1 Энгельс Ф. *Диалектика природы*. – Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 20, с. 493.)

Таким образом, само возникновение науки становится возможным только на определенной ступени экономического развития, в странах с развитым земледелием, с городской культурой, а в дальнейшем развитие науки соответствует развитию экономики.

Энгельс совершенно четко пишет по этому поводу: «...уже с самого начала возникновение и развитие наук обусловлено производством».(1 Энгельс Ф. *Диалектика природы*. – Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 20, с. 493.)

Особенно ярко роль общественного производства в развитии науки выступает на современном историческом этапе. Современная наука для своего развития требует огромных общественных средств. Развитие атомной физики и ядерной энергетики потребовало создания специальных предприятий по разделению изотопов, строительства реакторов и ускорителей, создания дорогостоящих приборов. Огромных средств требует также и современная космическая наука. Только такие мощные в экономическом отношении страны, как СССР и США, оказались в состоянии создавать космические корабли и мощные космические ракеты. Запуском первого искусственного спутника Земли в Советском Союзе была открыта космическая эра. Первые ядерные реакторы были созданы также в этих странах, а СССР стал родиной первой в мире атомной электростанции. Современная наука требует также большого количества высококвалифицированных кадров, т. е. мощной, развитой системы народного образования. Совершенно ясно, что только могучая экономика в состоянии обеспечить все эти условия для развития современной науки. Этот важнейший факт подчеркивает всю глубину и значимость утверждения Энгельса: «Возникновение и развитие наук обусловлено производством».

Вместе с тем это утверждение нельзя понимать упрощенно и искать для каждого научного открытия экономическую причину.

Законы развития науки гораздо сложнее. Экономические условия, способ общественного производства создают необходимую основу для всей жизни общества, в том числе и для науки. Но при наличии этой основы существенную роль играют и другие факторы. Так, для каждого исследования определяющими являются внутренние факторы:

состояние научных знаний, актуальность проблемы, собственные интересы и способности и т. п. Наука не только приобретает самостоятельность (в известных пределах, определяемых социальными условиями), но и, в свою очередь, влияет на общественное производство, стимулирует и ускоряет развитие производительных сил, становясь сама производительной силой. Следует подчеркнуть, что взаимосвязь науки и производства также исторична и развивается по мере развития производства и науки.

Из сказанного следует, что задача изучения закономерностей развития науки, в том числе и физики, имеет вполне определенный смысл и большое научное значение. В современную эпоху, когда наука сама является фактором общественного развития, эта задача становится особенно актуальной. Необходимость вкладывать большие средства в развитие науки требует предвидения наиболее эффективных путей этого развития, подчинения его определенному плану. Это не исключает появления неожиданных научных открытий, которых было немало в истории науки, но планирование науки сегодня стало общественной необходимостью. Поэтому сейчас изучение законов развития науки стало актуальной задачей, вызвавшей к жизни новую науку – науковедение. История науки – основа науки о науке.

История науки играет важную роль и в теории познания. В. И. Ленин неоднократно подчеркивал важную роль истории науки в материалистической теории познания. В «Материализме и эмпириокритицизме» он писал:

«В теории познания, как и во всех других областях науки, следует рассуждать диалектически, т. е. не предполагать готовым и неизменным наше познание, а разбирать, каким образом из незнания является знание, каким образом неполное, неточное знание становится более полным и более точным».(*Ленин В.И. Материализм и эмпириокритицизм. – Поли. собр. соч., т. 18, с. 102.*)

В. И. Ленин включал историю науки в список тех областей знаний, «из коих должна сложиться теория познания и диалектика».(2 *Ленин В. И. философские тетради. – Поли. собр. соч., т. 29, с. 314.*) Говоря о важнейшей идее науки – причинности и взаимосвязи, Ленин писал: «Тысячелетия прошли с тех пор, как зародилась идея «связи всего», «цепи причин». Сравнение того, как в истории человеческой мысли понимались эти причины, дало бы теорию познания бесспорно доказательную».(1 *Ленин В. И. философские тетради. – Поли. собр. соч., т. 29, с. 311.*)

В современной физике вопросы теории познания приобрели огромное значение, и указания В. И. Ленина на важность истории науки для материалистической теории познания звучат особенно актуально. Сам В. И. Ленин придавал истории науки настолько большое значение, что считал диалектическую обработку «истории человеческой мысли, науки и техники» продолжением дела Маркса.(1 *Ленин В. И. философские тетради. – Поли. собр. соч., т. 29, с. 311.*)

Таким образом, изучение истории науки, развития научных понятий обогащает теорию познания и, следовательно, саму науку. В этом заключается основное научное значение истории науки.

История науки имеет также важное методическое и воспитательное значение. Нередко исторический путь сообщения знаний является наиболее эффективным. Поэтому для учителя физики, например, знание истории физики необходимо, оно вооружает его методически и научно. История науки воспитывает любовь и уважение к науке, способствует выработке правильного мировоззрения, нравственных человеческих качеств. Чрезвычайно существенно, что знание истории науки помогает борьбе с догматизмом и формализмом в школьном преподавании и расширяет научный и культурный кругозор учащихся.

Таким образом, знание истории физики способствует повышению научного и профессионального уровня подготовки будущих учителей физики. Важность истории науки для преподавания не подлежит сомнению, и следует пожалеть, что она еще недостаточно используется для этого. В будущем, однако, по мере развития истории науки ее роль в школьном обучении, несомненно, возрастет.

Часть первая. Возникновение физики (от древности до Ньютона)

Глава первая. Физика древности

Зарождение научных знаний

Человек добывал знания об окружающем его мире в суровой борьбе за существование. В этой борьбе обособились от животного мира его далекие предки, развились его руки и интеллект. От случайных и неосознанных применений палок и камней для защиты и добывания пищи он перешел к изготовлению орудий, сначала в виде грубо и примитивно обработанных кусков камня, затем ко все более совершенным каменным орудиям, к луку и стрелам, рыболовным снастям, охотничьим ловушкам – этим первым программирующим устройствам. Величайшим завоеванием человека было получение и использование огня. В этой занявшей тысячи и тысячи лет эволюции формировалось сознание человека, развивалась речь, накапливались знания и представления о мире, возникли первые антропоморфные объяснения окружающих явлений, остатки которых сохранились и в нашем языке. Как и у первобытного человека, у нас солнце «ходит», месяц «смотрит» и т. д.

Другого способа понять природу, как уподоблять ее себе, живому существу, наделять ее чувствами и сознанием, у первобытного человека не было. Из этого источника развились и научные знания, и религиозные представления.

В библейском мифе о сотворении мира, записанном уже в эпоху развитого рабовладельческого общества, очень ярко выражены эти антропоморфные представления о боге, который поступает подобно человеку-земледельцу; проводит мелиоративные работы (отделил воду от земли), зажигает огонь («да будет свет»), создает все окружающие вещи и после трудов отдыхает.

Наряду с этими фантастическими представлениями о природе человек обогащался реальными знаниями о небесных светилах, растениях и животных, о движении и силах, метеорологических явлениях и т. д. Накопленные знания и практические навыки, передаваясь от поколения к поколению, образовывали первоначальный фон будущей науки. По мере развития общества и общественного труда накапливались предпосылки для создания устойчивой цивилизации. Решающую роль здесь сыграло возникновение земледелия. Там, где сложились условия для получения устойчивых урожаев на одном и том же месте и из года в год, создавались поселения, города, а затем и государства.

Такие условия возникли в Северной Африке в долине Нила, ежегодные разливы которого оставляли на полях плодородный ил, в дельте между реками Тигр и Евфрат, где уже в IV тысячелетии до н. э. стали складываться древнейшие рабовладельческие государства, ставшие колыбелью современной науки. Система орошаемого земледелия, добыча металла (меди) и его обработка, развитие техники и изготовление орудий создали предпосылки для возникновения сложного общественного организма с развитой экономикой. Общественные потребности привели к появлению письменности: иероглифов в Египте, клинописи в Вавилонии, к возникновению астрономических и математических знаний.

Сохранившиеся до наших дней великие пирамиды Египта свидетельствуют о том, что уже в III тысячелетии до н. э. государство могло организовывать большие массы людей, вести учет материалов, рабочей силы, затраченного труда. Для этой цели необходимы были специальные люди, работники умственного труда. Хозяйственные записи в Египте вели писцы, которым принадлежит заслуга фиксации научных знаний своего времени. Известные памятники II тысячелетия: папирус Ринда, хранящийся в Британском музее, и Московский папирус – содержат решение различных задач, встречающихся в практике, математические вычисления, вычисления площадей и объемов. В Московском папирусе дана формула для вычисления объема усеченной пирамиды. Площадь круга египтяне вычислили, возводя в квадрат восемь девятых диаметра, что дает для k достаточно хорошее приближенное

значение – 3,16.

Определение времени начала разлива Нила требовало тщательных астрономических наблюдений. Египтяне разработали календарь, состоявший из двенадцати месяцев по 30 дней и пяти дополнительных дней в году. Месяц был разделен на три десятидневки, сутки – на двадцать четыре часа, двенадцать дневных, двенадцать ночных. Поскольку продолжительность дня и ночи менялась со временем года, величина часа была не постоянной, а менялась со временем года.

Высокого уровня достигли вавилонская математика и астрономия. Вавилоняне знали теорему Пифагора, вычисляли квадраты и квадратные корни, кубы и кубические корни, умели решать системы уравнений и квадратные уравнения. Им принадлежит также деление эклиптики на двенадцать созвездий зодиака.

Следует подчеркнуть, что математика египтян и вавилонян носила практический характер и выросла из потребностей хозяйственной и строительной практики. По мнению историков математики, вавилонская математика находилась на более высоком научном уровне, чем египетская. Но в области геометрии египтяне ушли дальше вавилонян.

Астрономия была первой из естественных наук, с которой началось развитие естествознания, ф. Энгельс в «Диалектике природы» набросал схему развития естествознания, согласно которой сначала возникла астрономия из наблюдения смены дня и ночи, времен года и потому абсолютно необходимая для пастушеских и земледельческих народов. Для развития астрономии нужна была математика, а строительная практика стимулировала развитие механики.

Бесспорно, грандиозные сооружения древних государств (храмы, крепости, пирамиды, обелиски) требовали, по крайней мере, эмпирических знаний строительной механики и статики. При строительных работах находили применение простые машины: рычаги, катки, наклонные плоскости. Таким образом, практические потребности вызвали к жизни начатки научных знаний арифметики, геометрии, алгебры, астрономии, механики и других естественных наук.

Этими краткими замечаниями мы и ограничимся. Отметим в заключение, что значение начального периода в истории науки и культуры чрезвычайно велико. Не случайно историки математики уделяют большое внимание египетской и вавилонской математике. Здесь зародились начатки математических знаний, и прежде всего сформировалась фундаментальная идея числа, и основные операции с числами. Здесь были заложены основы геометрии. Здесь человек впервые описал звездное небо, движения Солнца, Луны и планет, научился наблюдать небесные светила и создал основы измерения времени, заложил основы алфавитного письма.

Особенно велико было значение письменности – основы науки и культуры. Недаром Галилей в «Диалоге» воздал восторженную хвалу создателю письменности.

Начальный этап античной науки

Несмотря на огромные заслуги науки Древнего Востока, подлинной родиной современной науки стала Древняя Греция. Именно здесь возникла теоретическая наука, разрабатывающая научные представления о мире, не сводящиеся к сумме практических рецептов, именно здесь развивался научный метод. Если египетский или вавилонский писец, формулируя правило вычисления, писал: «поступай так», не поясняя, почему надо «поступать так», то греческий ученый требовал доказательства. Основатель атомистики Демокрит высказал по этому поводу замечательные слова: «Найти одно научное доказательство для меня значит больше, чем овладеть всем персидским Царством». Современная наука хорошо запомнила, кому она обязана своим Рождением. Об этом свидетельствуют названия наук: математика, механика, физика, биология, география и т. д., взятые из греческого языка научные термины греческого происхождения (масса, атом, электрон, изотоп и т. д.), употребление греческих букв в формулах и, наконец, имена

греческих ученых: Фалеса, Пифагора, Демокрита, Аристотеля, Архимеда, Евклида, Птолемея и других, сохранившиеся в научной литературе.

Вавилонская и египетская наука, как было сказано, возникли из потребностей практики. Что касается теоретического мышления египтян и вавилонян, то оно не выходило за рамки анимизма и мифологии; монополия на объяснение тайн принадлежала жрецам. Древние греки сумели возвыситься над этим уровнем и поставить задачу понимания природы без привлечения таинственных, божественных сил, такой, какова она есть.

В Древней Греции человеческий разум впервые осознал свою силу и люди стали заниматься наукой не только потому, что это нужно, но и потому, что это интересно, ощутили «радость познания», по выражению Аристотеля. Первые ученые стали называться философами, т. е. «любителями мудрости», и в греческом обществе возникла потребность в учителях мудрости, для удовлетворения которой появилась профессия ученого и учителя.

Академия Платона и лицей Аристотеля были первыми в мире учебно-научными учреждениями, предшественниками современной высшей школы. Постепенно в Древней Греции появились специалисты и более узкого профиля: инженеры, врачи, астрономы, математики, географы и историки, а также научные учреждения типа Александрийского музея, предшественника современных научно-исследовательских институтов. Вместе с тем здесь зародилась научная информация в виде научных сочинений, лекций, диспутов и переписки ученых.

Итак, в Древней Греции возникли систематические научные исследования, научное преподавание, появились специалисты-ученые и научная информация.

Древняя Греция стала родиной и истории науки. Сведения о многих научных достижениях древнегреческих ученых нередко доходили до нас из текстов других ученых и греческих историков науки.

Возникновение греческой науки обычно относят к эпохе расцвета городов в Малой Азии (VII–VI вв. до н. э.). Ионические города Милет и Эфес, острова Средиземноморья, греческие колонии в Южной Италии – вот арена деятельности первых греческих ученых.

Греческая наука зарождалась в обстановке интенсивной политической и экономической жизни, бурных выступлений демоса (народа) против господства аристократических родов; она возникла на торговых путях, идущих из стран Востока. Динамическая социальная обстановка, быстрые общественные перемены рождали представления об изменениях в окружающем мире. «Все течет!» – утверждал философ Гераклит из Эфеса (около 530–470 гг. до н. э.). «Нельзя дважды войти в одну и ту же реку».

Родоначальник греческой науки Фалес Милетский (около 624–547 гг. до н. э.) и другие представители Ионийской школы: Анаксимандр (около 610–546 гг. до н. э.) и Анаксимен (около 585–525 гг. до н. э.) – выдвинули идею о материальной первооснове всех вещей, об их развитии из этой первоосновы. Так, Фалес считал, что такой основой является вода, Анаксимандр – некое бесконечное и неопределенное начало «апейрон», Анаксимен – воздух. Развивая эти воззрения, Гераклит создал представление о мире как о вечно вспыхивающем и вечно угасающем огне. «Мир, – утверждал Гераклит, – единый из всего, не создан никем из богов и никем из людей, а был, есть и будет вечно живым огнем, закономерно воспламеняющимся и закономерно угасающим...»

Таким образом, в противовес религиозным представлениям о сотворении мира божественной силой из ничего первые греческие мыслители выдвинули идею вечности и несотворимости мира, идею диалектического развития. Недаром К. Маркс и Ф. Энгельс считали греков «прирожденными диалектиками», а В. И. Ленин называл приведенный выше отрывок из высказываний Гераклита «очень хорошим изложением начал диалектического материализма».

Почти одновременно с материалистическими представлениями ионийцев возникло идеалистическое направление в философии, развитое Пифагором (около 580–500 гг. до н. э.) и его учениками. Личность Пифагора окутана туманом легенд, и многие историки науки и философии считали самого Пифагора мифической личностью. Однако именно о Пифагоре

сохранилось достаточное количество сведений биографического характера. Пифагор происходил из аристократического рода, ведущего свою родословную от мифического Геракла. Уроженец острова Самос, он принимал участие в политической борьбе аристократов и демократии на стороне аристократии и вынужден был бежать в Италию, где основал тайный союз. В политической борьбе союз был разгромлен, а Пифагор, по одним сведениям, был убит, по другим – умер в новом изгнании. Однако пифагорейская школа продолжала существовать и после смерти учителя. С ней связаны имена филолая (конец V – начало IV в. до н. э.), знаменитого философа Сократа и астронома Аристарха Самосского, жившего в конце IV и первой половине III в. до нашей эры.

Влияние пифагорейской школы было весьма значительным, и в эпоху Галилея учение о движении Земли именовалось «пифагорейским учением», философия и идеология пифагорейцев была реакционной, идеалистической. Центральным пунктом этой философии было учение о божественной роли чисел, которые, якобы, управляют миром. Пифагорейцы, приписывая числам мистические свойства, интерпретировали отдельные числа как совершенные символы: один – всеобщее первоначало, два – начало противоположности, три – символ природы и т. д. Они полагали, что любую вещь, любое явление мира можно выразить числами. Но так как они знали только рациональные числа, то, по преданию, открытие несоизмеримости диагонали квадрата с его стороной вызвало у них смятение.

Мистика чисел оказалась очень живучей. Она фигурирует в религиозных воззрениях, в магии, астрологии, в идеалистических системах. Вместе с тем в идее пифагорейцев о важности числовых отношений в природе имеется и рациональное зерно: количественный анализ, математические соотношения сегодня составляют основу научного описания природы. Первый пример такого описания дали сами пифагорейцы, открыв, что длины струн, звучания которых дают гармонические интервалы, относятся как простые целые числа (2:1, 3:2, 4:3). Важнейшей заслугой пифагорейцев является представление о шарообразности Земли и о ее движении.

Пифагорейцы выдвинули так называемую пироцентрическую систему, в которой Земля, Солнце, Луна и планеты движутся вокруг центрального огня. Считая десять священным числом, пифагорейцы ввели десять подвижных сфер, вращающихся вокруг центрального огня. Так как древние знали лишь пять планет, кроме Земли, то пифагорейцам для получения священного числа десять пришлось ввести дополнительное небесное тело «проти-воземлю» (предвзятая догма приводила к ложным гипотезам).

Таким образом, сферы Земли и противоземли, Солнца, Луны, пяти планет и неподвижных звезд вращались вокруг центрального огня. Расстояния этих сфер от центра, по учению пифагорейцев, подчиняются простым числовым соотношениям. Вращающиеся сферы издают неслышимые гармонические звуки (музыка сфер).

В дальнейшем Аристарх Самосский выбросил центральный огонь и противоземлю и, поместив в центре Вселенной Солнце, построил первую модель гелиоцентрической системы. По-видимому, эта модель не была известна Копернику. В посвящении к своей книге он ссылается на учение о движении сфер вокруг центрального огня, изложенное пифагорейцем филолаем.

Отметим, что наука Древней Греции с самого начала опиралась на знания, добытые в странах Древнего Востока. Но также с самого начала проявились в этой науке новые черты. Мыслитель Древней Греции стремился обсуждать проблему, логически обосновать то или иное положение. Эта черта особенно ярко проявилась в воззрениях последующих ученых: известных из истории философии элеатов, атомистов и Аристотеля.

Таким образом, уже на первом этапе возникновения науки были поставлены глубокие вопросы о строении и происхождении мира, о причине движения, о роли количественных отношений в природе и т. д. Пытаясь ответить на эти вопросы, ионийцы, пифагорейцы и элеаты положили начало теоретическому анализу природы, разработке научной картины мира. В этих первых попытках много наивного, фантастического, ложного, еще отсутствует проверка гипотез и представлений опытом и математическим анализом. Но уже высказана

четкая идея о вечности материи, о развитии мира в силу естественных причин, построены первые модели Вселенной. На смену религиозным и мифическим представлениям о возникновении и строении мира пришла наука.

Возникновение атомистики

Идея первичной материи (праматерии) ионийцев была очень привлекательной и неоднократно в той или иной форме возрождалась в физике. Однако всякий раз возникала трудность объяснения разнообразия вещей и происхождения изменений в мире. Элеаты обошли эту трудность допущением однородности и неизменности мира. Они, таким образом, сняли этот трудный вопрос и объяснили разнообразие мира и движения иллюзией, вызванной обманом чувств. Однако такой ответ находился в резком противоречии с повседневным опытом и не мог удержаться в науке. По существу он был враждебен науке, по самой своей природе призванной выдвигать вопросы и искать на них ответы.

Пытливое мышление древних греков отказалось от этой идеи элеатов, равно как и от идеи праматерии, и выдвинуло концепцию элементов, из которых построена Вселенная. Впервые эта концепция была выдвинута Эмпедоклом (около 490–430 гг. до н. э.), жившим в городе Акраганте (Агригенте) на острове Сицилия, «Эмпедокл, – говорил греческий философ и историк науки Тесье Фраст, – предполагает четыре материальных элемента, а именно: огонь, воздух, воду и землю; эти элементы, будучи вечными, изменяются по числу и величине путем соединения и разделения. Существуют два начала в современном смысле этого слова, при помощи которых элементы приводятся в движение; эти начала – Любовь и Вражда, ибо элементы должны подвергаться двоякому движению, а именно: то соединению путем Любви, то разделению путем Вражды».

Таким образом, все разнообразие вещей, по Эмпедоклу, обусловлено сочетанием четырех различных элементов, а причиной изменения в природе является действие притягательных и отталкивательных сил, которые у Эмпедокла носят названия – Любовь и Вражда.

Чрезвычайно существенно, что Эмпедокл со всей ясностью утверждал всеобщее начало сохранения. Его элементы вечны и неразрушимы: «они остаются сами собой», «если бы они совсем погибли и их не было бы более, как бы возникла Вселенная? Откуда она бы явилась?» – спрашивает Эмпедокл. Они не могут и исчезнуть, «нет пространства, не наполненного ими». Вечность элементов и, следовательно, Вселенной обусловлена всеобщим началом сохранения: «Ничто не может произойти из ничего, и никак не может то, что есть, уничтожиться». С этого принципа Эмпедокла и начинается история законов сохранения, играющих такую фундаментальную роль в современной физике.

Демокрит



С V в. до н. э. центр греческой науки переместился в Афины. Здесь появились учителя мудрости – первые научные школы. В Афинах высокого уровня достигли искусство, литература. В эпоху Перикла был создан знаменитый Акрополь, великим скульптором

фидием воздвигнуты статуи, греческий драматург Софокл писал трагедии, ставившиеся на сцене греческого театра, Аристофан сочинял комедии. В Афины приезжали выдающиеся представители греческой науки. Здесь учил математик Гиппократ, философ и физик Анаксагор (около 500–428 гг. до н. э.), создавший учение о «семенах» всех вещей и движущем начале «нус» (дух), сообщившем элементам материи вращательное движение, в результате которого образовалась Земля и все вещи.

Анаксагор учил, что Луна, Солнце, планеты и звезды, которым египтяне и греки приписывали божественную природу, являются раскаленными камнями.

За это смелое учение о материальности небесных светил он подвергся изгнанию из Афин и окончил свою жизнь в Малой Азии.

Анаксагор был современником основателей атомистики Левкиппа и Демокрита (около 460–370 гг. до н. э.).

Демокрит был родом из фракийского города Абдера. Сохранились сведения о том, что он много путешествовал, был в Египте, Вавилоне, Персии, написал множество произведений по различным отраслям науки: математике, физике, философии и др. Но его сочинения не дошли до нашего времени, и о них мы знаем только из книг других авторов, по фрагментам, приведенным этими авторами. Тем не менее основные положения теории Демокрита воспроизводятся во многих современных книгах по физике и философии почти одними и теми же словами. Вот эти принципы Демокрита:

1. Из ничего не происходит ничего. Ничто существующее не может быть разрушено. Все изменения происходят благодаря соединению и разложению частей.

2. Ничто не совершается случайно, но все совершается по какому-нибудь основанию и с необходимостью.

3. Не существует ничего, кроме атомов и чистого пространства, все другое только воззрение.

4. Атомы бесконечны по числу и бесконечно разнообразны по форме. В вечном падении через бесконечное пространство большие, которые падают скорее, ударяются о меньшие; возникающие из этого боковые движения и вихри служат началом образования мира. Бесчисленные миры образуются и снова исчезают одни рядом с другими и одни после других.

5. Различие между вещами происходит от различия их атомов в числе, величине, форме и порядке; качественного различия между атомами не существует. В атоме нет никаких «внутренних состояний»; они действуют друг на друга только путем давления и удара.

6. Душа состоит из тонких, гладких и круглых атомов, подобных атомам огня. Эти атомы наиболее подвижны, и движения их, проникающие в тело, производят все жизненные явления.

Атомное учение, пройдя через века, выдержало ожесточенную борьбу с идеализмом и поповщиной (еще Платон приказывал своим ученикам истреблять сочинения Демокрита) и, развиваясь, стало основой всего современного естествознания.

В учении атомистов играет существенную роль принцип сохранения, который, как мы видим, был уже у ионийцев. Новым моментом является допущение пустоты. Ни у ионийцев, ни у пифагорейцев, ни у элеатов пустоте нет места. С точки зрения элеатов, пустота – это небытие, а небытия нет, и его даже мыслить нельзя. У пифагорейцев мировое пространство заполнено «пустым и холодным эфиром». Эфир принимает и Анаксагор, с которым Демокрит встречался в Афинах, но, по-видимому, во взглядах с ним решительно разошелся.

В системе Демокрита нет места для какого-то «разума», производящего движение частиц, движение атомов вечно и не нуждается в особом начале. Движущиеся в пустом бесконечном пространстве атомы, сталкиваясь друг с другом, производят все вещи и бесчисленные миры.

Пустое бесконечное пространство Демокрита – это совершенно новый элемент картины мира, и его появление вызвано успехами геометрии.

Сам Демокрит был крупным математиком. Одним из фундаментальных результатов

его математических работ было доказательство, что объем пирамиды равен одной третьей объема призмы, а объем конуса – одной третьей объема цилиндра. В математических доказательствах Демокрита огромную роль играла атомистика. Атомами линии были точки, атомами поверхности – линии, атомами объемов – тонкие листки.

Успехи геометрии шаг за шагом формировали представление о пустом пространстве, лишенном каких-либо чувственно осязаемых свойств. Линии, поверхности, геометрические тела становились абстрактными образами, чистой формой. Пространство, свойства которого в дальнейшем описал Евклид, является чистой протяженностью, лишенной материального содержания, и ареной движения атомов, вместившем всех тел природы. Согласно учению атомистов бесконечно пустого пространства и атомов достаточно для описания разнообразных явлений мира, в том, числе социальных и психических. Учение атомистов – монистическое учение, по которому материя и движение – основы бытия.

Аристотель

Пелопоннесская война (431–404 гг. до н. э.) привела к упадку Афин и афинской демократии. Происходили глубокие изменения и в идеологии. Материалистическая система ионийцев и атомистов вытеснилась идеалистической философией Сократа (469–399 гг. до н. э.) и его ученика Платона (427–347 гг. до н. э.). Появились учителя беспринципной диалектики – софисты, на которых был большой спрос в обострившейся политической борьбе внутри господствующего класса. Вместе с тем развивалось искусство диалога, умение логически мыслить, повышался интерес к строгим математическим доказательствам, философ Платон, основавший свою школу, так называемую «Академию Платона», высоко ценил математику, хотя сам, не был даровитым математиком. По преданию, над входом в Академию была надпись: «Пусть не входит никто, не знающий математики». В трудах Платона содержался и ряд интересных физических идей, однако в историю науки он вошел по преимуществу как философ-идеалист. Общество ощущало потребность в систематизированном научном знании, и на долю ученика Платона, знаменитого мыслителя древности Аристотеля выпала задача составить систематический свод научных знаний своего времени.

Аристотель родился в 384 г. до н. э. в городе Стагире, в северо-восточной области Греции. Город находился недалеко от границы с Македонией, и отец Аристотеля Никомах был придворным врачом македонского царя Аминты II. Сын Аминты Филипп, отец Александра Македонского, был другом детства Аристотеля, впоследствии, будучи царем, он пригласил Аристотеля в наставники к своему сыну Александру, будущему знаменитому полководцу.

Македония далеко уступала Афинам в экономическом и культурном развитии. Афиняне презрительно называли македонцев варварами. Однако при Аминте и особенно Филиппе Македония превратилась в грозную в военном отношении державу, а политические распри в Афинах были искусно использованы Филиппом. Несмотря на сопротивление антимакедонской партии, возглавляемой знаменитым оратором Древней Греции Демосфеном, речи которого против Филиппа вошли в историю под названием «филиппики», Афины не устояли в военном столкновении с Македонией. В 338 г. до н. э. в битве при Херонее греческие войска были разбиты македонскими, а состоявшийся в следующем, 337 г. до н. э. Коринфский конгресс закрепил гегемонию Македонии над Афинами и Грецией. Сам Филипп стал готовиться к военному походу на Персию, но в 366 г. до н. э. был убит, и этот поход начался под предводительством его сына Александра Македонского. Александр в результате многолетних победоносных походов в Азию и Африку создал огромную империю, подчинив Персию, Египет, среднеазиатские государства, дойдя со своими войсками до Индии.

Наступала новая эпоха в развитии древнего мира.

Но эти события были еще впереди, когда восемнадцатилетний Аристотель прибыл в

Афины в Академию Платона. Однако Платона он там не застал, тот был в Сицилии. Академией руководил математик и астроном Евдокс Книдский (около 408–355 гг. до н. э.), впервые разработавший теорию движения планет вокруг Земли с помощью систем вращающихся сфер.

Около двух лет Аристотель пробыл в Академии до встречи с ее основателем и около двадцати лет вместе с Платоном до самой смерти своего учителя. После смерти Платона Аристотель с 343 по 339 гг. до н. э. жил в столице Македонии Пелле в качестве наставника Александра. В 336 г. до н. э. Аристотель вернулся в Афины, где основал свой Лицей.

Александр Македонский умер во время походов в 323 г. до н. э. После его смерти в Афинах взяла верх анти-македонская партия. Демосфен вернулся из изгнания, а Аристотель был изгнан на остров Эвбею, где и умер осенью 322 г. до н. э., пережив своего знаменитого ученика на один год. Но противники Македонии торжествовали недолго. В год смерти Аристотеля антимакедонские силы были разбиты, Демосфен покончил жизнь самоубийством. Так личная судьба Аристотеля переплелась с бурным и напряженным периодом политической истории Древней Греции. Научное наследие Аристотеля огромно. Оно образует полную энциклопедию научных знаний своего времени. Правда, в его трудах мы не находим математических и механических исследований. Аристотелю долгое время приписывалось сочинение «Механические проблемы», однако, как выяснилось, оно написано после его смерти, лицом, по-видимому, вышедшим из школы Аристотеля.

Аристотель положил основание и истории науки. В его «Метафизике» мы находим мысли о возникновении науки и искусства, обзор и критический анализ результатов работ его предшественников. О многих античных ученых мы знаем только по сведениям, приводимым Аристотелем. Преемник Аристотеля по руководству Лицеом Теофраст (феофраст) был автором исторического сочинения «Мнения физиков», а другой ученик Аристотеля – Евдем Родосский был первым историком математики.

Пожалуй, ни один ученый не оказывал такого длительного и глубокого влияния на развитие человеческой мысли, как Аристотель. Его воззрения принимались за истину в течение ряда столетий. В средневековых европейских университетах естествознание излагалось, по Аристотелю, которого называли предтечей Христа в истолковании природы. Последователей Аристотеля именовали перипатетиками, от греческого слова «перипатос» – место для прогулок (в этом месте находился Лицей).

Новому естествознанию пришлось вступить в борьбу с представителями перипатетической философии, которые, превратив в догмат некоторые положения Аристотеля, стали врагами научного прогресса. В теории Аристотеля были высказывания, за которые ухватилась христианская церковь и объявила их каноническими догмами. «Поповщину – писал по этому поводу В.И. Ленин, – убила в Аристотеле живое и увековечила мертвое». (Ленин В. И. Конспект книги Аристотеля «Метафизика». – Полн. собр. соч., т. 29, с. 325.) Поэтому борьба против учения Аристотеля была нелегким и опасным делом. Противников Аристотеля легко можно было обвинить в выступлениях против религии, против авторитета церкви, в ереси. Известно, как беспощадно расправлялась церковь с еретиками.

Однако сам Аристотель был далеко не догматиком. «Древнегреческие философы, – писал Энгельс, – были все прирожденными, стихийными диалектиками, и Аристотель, самая универсальная голова среди них, уже исследовал существеннейшие формы диалектического мышления». (Энгельс ф. Анти-Дюринг. – Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 20, с. 19.) Он не был и идеалистом, как его учитель Платон. Он признавал объективное существование материального мира и его познаваемость. Но одновременно он верил в существование богов, противопоставлял земной и небесный миры, искал высшую цель природы и т. п. Все это давало возможность церкви ухватиться за мертвое в философии Аристотеля и отбросить все живое – его пытливые искания, его стихийную диалектику и многие глубокие мысли, привлекающие к Аристотелю внимание таких мыслителей, как Маркс, Энгельс, Ленин. Современная физика нередко находит у Аристотеля интересные высказывания, звучащие

весьма актуально.

Аристотель был крестным отцом физической науки. Название его книги, посвященной исследованию природы («физика»), стало названием физической науки. Сам Аристотель в начале своей книги определяет цели и задачи этой науки следующим образом: «Так как научное знание возникает при всех исследованиях, которые простираются на начала, причины или элементы путем их познания (ведь мы тогда уверены в познании всякой вещи, когда узнаем ее первые причины, первые начала и разлагаем ее вплоть до элементов), то ясно, что и в науке о природе надо определить прежде всего то, что относится к началам».(*Аристотель, физика. – М.: Соцэкгиз, 1936, с. 5.*) Из этого высказывания Аристотеля вытекает, что наука о природе должна исследовать «первые причины» природы, ее «первые начала» и «элементы». Говоря современным языком, физика должна изучать основные закономерности (первые причины) и принципы («первые начала») природы и ее «элементы» («элементарные частицы»). Таким образом, физика является общей теорией природы, основанной на фундаментальных законах и представлениях об основных элементах (частицах и полях в современной физике).

Современный теоретик разделяет этот взгляд Аристотеля на задачи физики и работает над построением такой всеобъемлющей теории природы.

Интересно замечание Аристотеля о пути познания природы: «Естественный путь к этому (к познанию «начал» природы.– П. К.) идет от более известного и явного для нас к более явному и известному с точки зрения природы вещей: ведь не одно и то же, что известно для нас и прямо, само по себе. Поэтому необходимо вести дело именно таким образом: от менее явного по природе, а для нас более явного, к более явному и известному по природе»(*Аристотель, физика. – М.: Соцэкгиз, 1936, с. 5.*)

В свете истории науки это высказывание Аристотеля приобретает очень глубокое значение. Люди воспринимают вещи сначала такими, какими они им представляются («явными для нас»), а не такими, какими они являются сами по себе («по природе»). Камень в обыденном представлении и камень в понимании современного физика– разные вещи. Путь научного познания и лежит в направлении от обычного чувственного созерцания, весьма далекого от понимания истинной природы вещей, к более глубокому пониманию этой природы, весьма далекому от обычного представления «по здравому смыслу». Так, Земля представлялась плоской и неподвижной.

Открытие шарообразности Земли было крупным шагом в направлении познания к «явному по природе» и «менее явному для нас». Открытие Коперника представляло следующий шаг в том же направлении.

История науки подтверждает правильность высказывания Аристотеля о пути познания природы: от более известного и явного для нас к более явному и известному с точки зрения природы вещей.

Прежде чем изложить физическую картину мира по Аристотелю, остановимся на его методе познания. В аристотелевской «физике», в отличие от современного учебника физики, мы не найдем ни математических формул, ни описаний опытов и приборов. Аристотель приходит к тем или иным выводам путем рассуждений, установления логических противоречий в выводах, следующих из тех или иных предположений. Такой метод, метод диалектики и логики, был в большом ходу у древних мыслителей. Сократ, выдвигая те или иные положения, ставил вопросы, придумывал ответы, сопоставлял эти ответы и показывал логическую противоречивость тех или иных ответов, кажущихся на первый взгляд очевидными. Тем самым он доказывал их неправильность, абсурдность.

Аристотель



Диалог, дискуссия были основным методом Сократа и его ученика Платона, сочинения которого прямо написаны в форме диалога, «физика», «Метафизика» и другие труды Аристотеля, хотя формально и не являются диалогами, носят следы такого метода познания, и, несомненно, идеи Аристотеля вызревали в подобного рода дискуссиях и беседах. Читать его «физику» очень трудно прежде всего потому, что мы не знаем этой первичной основы книги, нам нередко непонятно, откуда берется то или иное положение, тогда как для Аристотеля и его учеников это было совершенно ясным.

Громадная практика дискуссий, научных и политических, составляющих привычную картину духовной и общественной жизни древнего греческого города, послужила основным материалом для научных обобщений Аристотеля, и этот материал нам в своей массе недоступен. Поэтому так многое у Аристотеля кажется непонятным. Комментаторам Аристотеля во все времена было немало работы.

Так или иначе метод эксперимента и математического анализа был отброшен Аристотелем. Конечно, в эпоху рабовладения «ремесленное» искусство экспериментаторов не пользовалось и не могло пользоваться уважением. Рабовладелец ценил тонкую игру мысли, но к искусной работе рук он относился с пренебрежением, что не мешало ему ценить достижения художников и архитекторов. Аристотель был тонким наблюдателем и даже искусным экспериментатором, как это видно в особенности из его биологических работ. Но в своей «физике» он не апеллирует к опыту, полагаясь исключительно на силу логического анализа.

Следует отметить, что Аристотель отличал вещи, существующие «по природе», от вещей, созданных искусственно. «По природе, мы говорим, существуют животные и части их, растения и простые тела, как-то: земля, огонь, вода, воздух». Вещи, существующие по природе, носят в самих себе «начало движения и покоя», в то время как тела, изготовленные искусственно, «не имеют в себе врожденного стремления к изменению», а изменяются постольку, поскольку они состоят из элементов природы.

Аристотелю вряд ли бы понравилось исследование природы с помощью комбинации искусственных вещей. Эксперимент нарушает жизнь природы и искажает ее познание. По тем же причинам Аристотель считал недопустимым применение математики в исследовании природы. Математика, какой она была в Древней Греции, имела дело с постоянными величинами и отношениями, природа же нечто движущееся, непрерывно изменяющееся.

Математика имеет дело с абстрактными, не материальными понятиями, природа же конкретна, материальна. «Точность, именно математическую точность, нужно требовать не во всех случаях, но лишь для предметов, у которых нет материи. Таким образом, этот способ не подходит для науки о природе, ибо природа во всех, можно сказать, случаях связана с

материей».

Совершенно ясно, что при таких методологических предпосылках «физика» Аристотеля является скорее философским трактатом, чем руководством по естествознанию. В ней Аристотель обсуждает общие понятия науки о природе: понятия материи и движения, пространства и времени, разбирает действующие причины, вопрос о существовании пустоты, о конечном и бесконечном, о первичных качествах.

Аристотель признавал объективное существование материи, которая у него, однако, является своеобразным «текучим» понятием. «Я называю, – говорит Аристотель, – материей первый субстрат каждой вещи, из которого возникает какая-нибудь вещь..» Так, материей статуи является мрамор, из которого она сделана, материей дуба – желудь, из которого он развился, и т. д. «Текучесть» понятия материи видна из того, что по отношению к мрамору, желудю и т. д. можно поставить вопрос об их субстрате и, таким образом, прийти к какой-то первичной субстанции– «первоматерии».

Существенным моментом в представлении Аристотеля о материи является то, что она сама по себе служит только возможностью возникновения реальной вещи, некоторым пассивным началом природы. Для того чтобы вещь стала реальностью, она должна получить форму, которая превращает возможность в действительность. Всякая вещь есть единство материи и формы, в природе происходят постоянные переходы материи в форму, формы в материю. Отсюда возникает учение Аристотеля о четырех действующих причинах: 1) материальной; 2) формальной; 3) производящей; 4) конечной. Активная производящая причина есть движение, конечная – цель.

Учение о четырех причинах получило большое распространение в средние века, став краеугольным камнем схоластики. Казалось, что именно в этом пункте и прежде всего в концепции конечной цели Аристотель скатывается на позиции идеализма. Природа у него действует подобно скульптору, который из глыбы мрамора (материи) осуществляет свою цель, придавая этой глыбе форму статуи. Отсюда недалеко и до признания «верховного скульптора» – бога, преследующего в мироздании «высшую цель». Так это и понималось в эпоху средневековья.

Однако развитие науки заставило по-новому оценить идеи Аристотеля о материи как о возможности и цели.

Материя как возможность неожиданно получила свое воплощение в представлениях современной теоретической физики о виртуальных частицах и полях. Что же касается концепции цели, т. е. программирования материальных процессов, то представление Аристотеля о том, что желудь стремится осуществить цель – превратиться в дуб, получило права гражданства в современной биологии. Согласно современным представлениям, в молекулах ДНК (дезокси-рибонуклеиновой кислоты) запрограммировано будущее развитие биологического объекта. Вновь подтверждается справедливость утверждения ф. Энгельса, что «в многообразных формах греческой философии уже имеются в зародыше, в процессе возникновения, почти все позднейшие типы мировоззрений. Поэтому и теоретическое естествознание, если оно хочет проследить историю возникновения и развития своих теперешних общих положений, вынуждено возвращаться к грекам»

Движение Аристотель понимает как общее изменение, как активное превращение возможного в действительное. Механическое движение (греческое «фора», отсюда одно из названий кинематики – «форонмия») – это только один из видов движения, заключающийся в перемене места. Понятие «место» Аристотель разбирает подробно. Оно и неразрывно связано с материальным телом (пространство, лишённое материи, Аристотель категорически отвергает) и образуется из отношения одного тела к другому. Место, по Аристотелю, не что иное, как граница объемлющего тела. Например, воздух, окружающий Землю, является местом Земли.

Время Аристотель связывает с движением, оно служит своеобразной мерой движения, «числом движения». Наиболее простым Аристотель считает равномерное круговое движение, «так как число его является самым известным». «Оттого и время кажется

движением сферы, что этим движением измеряются прочие движения и время измеряется им же». Так астрономическая практика, давшая основу измерения времени, отразилась в аристотелевской концепции времени.

В своей «физике» Аристотель подробно разбирает взгляды своих предшественников – ионийцев, элеатов, Анаксагора, Левкиппа и Демокрита на первоначала мира. Он критикует воззрения атомистов, признающих пустоту и бесчисленное множество атомов и миров, так как, по его мнению, эта точка зрения приводит к логическим противоречиям. Бесконечное мыслимо только в возможности («потенциальная бесконечность»), реальный мир конечен и ограничен и построен из конечного числа элементов.

Понятие пустоты, по Аристотелю также ведет к противоречиям с действительностью. Правильно подметив, что среда оказывает сопротивление движению и тем большее, чем она плотнее, Аристотель приходит к выводу, что бесконечное разреженное пустое пространство приводило бы к бесконечному движению. Это, по его мнению, невозможно. В отсутствие сопротивления скорость тела была бы бесконечной, что также невозможно. Любопытно, что другим аргументом против пустоты является совершенно правильный вывод Аристотеля об одинаковой скорости падения всех тел в пустоте, равно как и вывод о бесконечном инерциальном движении. В реальных условиях движение конечно и тела падают с разной скоростью. Аристотель полагает, что, чем тяжелее тело, тем быстрее оно падает. Только

Галилей опроверг это мнение Аристотеля, подтвердив отвергнутое Аристотелем утверждение, что в пустоте все тела падают одинаково. Он же впервые ввел понятие о бесконечном инерциальном движении. Эйнштейн же аристотелевский принцип невозможности бесконечно большой скорости совместил с допущением пустоты, приняв в качестве предельной скорости скорость света в вакууме. физическая картина мира Аристотеля наряду с правильными и интересными мыслями содержит неверные и V реакционные положения. К таким утверждениям относится учение Аристотеля о существовании абсолютного неподвижного центра мира (Земли), о противоположности земного и небесного.

Все эти утверждения, как уже говорилось, были канонизированы церковью и рассматривались в эпоху средневековья как абсолютная догма. Реальное земное тело не могло стать принадлежностью вечного, неразрушимого небесного мира.

Земной мир построен из изменчивых и превратимых друг в друга элементов, в нем происходит непрерывное изменение, разрушение и уничтожение. Четыре основные противоположности: сухость и влажность, тепло и холод – в своих сочетаниях дают начало четырем основным элементам мира: холодная и сухая Земля, холодная и влажная вода, теплый и влажный воздух, теплый и сухой огонь. Эти четыре элемента Аристотеля отличаются от аналогичных элементов Эмпедокла тем, что они могут переходить друг в друга путем изменения первичных качеств. Это учение Аристотеля стало теоретической базой алхимии.

В земном мире действуют также начала тяжести и легкости. Все тела в силу этих качеств стремятся либо к центру мира, либо от центра вверх. Так, дерево в воздухе стремится к центру, в воде же всплывает. Вертикальное падение или стремление вверх, по Аристотелю, является естественным движением, присущим телам в силу основных начал тяжести или легкости. Все прочие движения насильственны и поддерживаются только внешними силами и воздействиями. Само по себе тело придет в движение только в силу тяжести, во всех остальных случаях должна действовать сила. Небесным телам присуще равномерное круговое вращение. Круг вообще Аристотель считает за нечто чудесное и его чудесным свойством объясняет и действие рычага.

Пустота, невесомость, по Аристотелю, неестественны, невозможны. Аристотелевский физик – это человек, живущий в воздушной среде на неподвижной Земле, в поле тяготения этой Земли и не мыслящий мир без этих атрибутов. В соответствии с повседневными представлениями Аристотель принимает геоцентрическую систему мира и концепцию ограниченной Вселенной, расслоенной на сферы движения небесных светил.

Естествознанию предстояло пройти длительный путь поисков и борьбы, чтобы прийти к иному миропониманию.

Атомистика в послеаристотелевскую эпоху

Войны Александра Македонского изменили лицо древнего мира и привели в соприкосновение греческую и восточную цивилизации. Из этого контакта возник сплав культуры, играющий большую роль в мировой истории, и в частности в возникновении и развитии христианства. На обломках распавшейся после смерти Александра огромной империи возникли новые государства, новые центры торговли, ремесла и культуры.

Полководцы Александр Селевк и Птолемей Лаг поделили между собой мир. Селевк и его преемники (селевкиды) обосновались в Азии. Птолемей и его преемники – в Африке. В этих государствах возникли новые центры экономической и культурной жизни: Пергам, Антиохия, остров Родос в Азии, Александрия в Африке. Афины превратились в провинцию, хотя пульс философской и научной жизни продолжал еще биться и после смерти Аристотеля. Характер греческой науки и философии, однако, претерпел существенные изменения.

В истории науки и культуры древнего мира начался новый период, получивший название эллинистического (эллины – греки) и продолжавшийся от образования эллинистических государств (конец IV – начало III в. до н. э.) до завоевания Египта Римом (I в. до н. э.). С этого времени начинается третий период истории науки – греко-римский. В течение этого периода эллинская языческая культура уступает свои позиции новой, христианской культуре, вступившей в резкую оппозицию к язычеству, ярким выражением которой является разгром знаменитой Александрийской библиотеки и убийство женщины-астронома Гипатии (415 г. н. э.). Борьба завершается длительным господством религиозной идеологии в духовной жизни средневековья, подчинившей науку и культуру. Именно этим объясняется тот факт, что замечательные достижения античной науки оказались в значительной степени забытыми, а подавляющее большинство трудов древних авторов – утраченными.

С самого начала религия (не только христианская) была врагом науки и свободной научной мысли. Следы этой вражды видны во всей истории науки, в том числе и в науке древности. Римский поэт и философ Лукреций Кар (около 99-55 гг. до н. э.) в своей знаменитой поэме «О природе вещей», ставшей классическим произведением научного естествознания, вдохновенно описал «тягостный гнет религии», под которым «безобразно влачила» жизнь людей и против которого восстал греческий мыслитель, вступив в бесстрашную борьбу с религиозной идеологией. *(Теория Эпикура изложена в поэтической форме в поэме Лукреция «О природе вещей», написанной в I в. до н. э. Эта поэма издана в русском переводе в серии «Классики науки», основанной академиком С. И. Вавиловым, в двух томах. Том второй содержит научные комментарии и отрывки из произведений самого Эпикура.)* Смелый мыслитель, воспетый Лукрецием в первой песне поэмы и изложению учения которого посвящена вся эта поэма, – последний блестящий представитель афинской науки и философии Эпикур (341–270 гг. до н. э.), развивший учение Демокрита о природе.

В творчестве Эпикура уже ясно обозначились интересы новой эпохи. Ученого занимали по преимуществу проблемы этики. Эти проблемы оживленно обсуждались в эллинистическую и греко-римскую эпоху, и значительная часть этического и философского наследия этого периода вошла в христианскую этику и философию. Однако этика Эпикура была материалистической и земной («эпикурейство») и вызвала злобную реакцию «отцов» церкви.

Учение Эпикура о природе основано на концепции атомов Демокрита, но несколько отличается от демокритовского. Поразителен размах атомной теории. Существованием атомов Эпикур, а за ним и Лукреций пытаются объяснить все естественные, психические и социальные явления. Само представление об атомах выводится из хорошо известных фактов.

Так, белье сохнет потому, что под действием солнца и ветра от него отрываются невидимые частицы воды, рука медной статуи у городских ворот, к которой прикасаются в поцелуе губы входящих в город, заметно тоньше по сравнению с другой рукой, так как при поцелуе губы уносят частицы меди.

Атомы находятся в беспорядочном движении, и Лукреций рисует модель движения атомов, уподобляя его движению пылинок в солнечном луче, ворвавшемся в темную комнату. Это первая в истории науки картина молекулярного движения, написанная древним автором. Само хаотическое движение атомов Эпикур объясняет иначе, чем Демокрит, – он отступает от строгого детерминизма Демокрита. Эпикур не признает различия в скорости падения малых и больших атомов; в пустом пространстве все частицы движутся с одинаковой скоростью. Но в некоторые моменты самопроизвольно возникают случайные небольшие отклонения той или иной частицы от прямолинейного пути. Эти отклонения Эпикур считал необходимыми, чтобы объяснить свободную волю людей, так что атомы как бы также обладают некоей «свободой воли».

Эпикур и Лукреций считали, что одна необходимость не в состоянии объяснить разнообразие явлений природы и особенности поведения людей и животных. Следует допускать небольшие случайные отклонения атомов в неопределенных местах, в неопределенные моменты времени («не в положенный срок и на месте, дотоль неизвестном»). Так впервые в истории науки в научный анализ наряду с необходимостью вводится случайность.

Основной принцип материалистической философии «из ничего ничего не бывает» лежит в основе учения Эпикура – Лукреция:

За основанье тут мы берем положенье такое.

Из ничего не творится ничто по божественной воле.

Лукреций прямо восстает против религиозного тезиса о сотворении мира из ничего по божественной воле, он противопоставляет ему воззрение о вечных превращениях неразрушимой материи:

Ты видишь отсюда,

Что из материи все вырастает своей и живет ей

Мир бесконечен в пространстве: Нет никакого конца ни с одной стороны у Вселенной.

Где бы ты ни был, везде с того места, что ты занимаешь,

Все бесконечном она остается во всех направлениях

Этот бесконечный мир не имеет никакого центра.

Учение Аристотеля о естественном центре Вселенной атомисты отвергают. Вместе с тем у Лукреция нет представления о шарообразности Земли. В этом отношении он делает шаг назад по сравнению с Аристотелем. Трудно понять, как это сочетается у него с представлением о множестве миров, с космогонической концепцией о возникновении этих миров из сочетания атомов.

Уже из этого примера видно, что пути к истине далеко не прямолинейны, научные познания не развиваются по непрерывно восходящей линии. Пифагорейцы первыми приняли гипотезу о сферичности Земли, но даже у Анаксагора она плоская лепешка.

В дальнейшем, в эллинистическую эпоху, предпринимаются первые научные попытки определения радиуса Земли, но Лукреций, спустя два века после этих попыток, вновь возвращается к плоской Земле и резко выступает против представления об антиподах, против относительности верха и низа.

Однако эти ошибки не умаляют огромного исторического значения достижений древних атомистов. Они ввели в науку плодотворную идею, прошедшую через века, развившуюся в наши дни в могучую науку об атоме и атомном ядре. Они построили первые научные теории явлений природы, основанные на идее атомов, и современная кинетическая теория материи начинается с картины, нарисованной Лукрецием: Вот посмотри: всякий раз, когда солнечный свет проникает в наши жилища и мрак прорезает своими лучами,

*Множество маленьких тел в пустоте ты увидишь, которые
Мечутся взад и вперед в лучистом сиянии света;
Будто бы в вечной борьбе они бьются в сраженьях и битвах,
В схватке бросаются вдруг по отрядам, не зная покоя.
Или сходясь, или врозь беспрерывно опять разлетаясь.*

Можешь из этого ты уяснить себе, как неустанно Первоначала вещей (Так Лукреций называет атомы (primordia rerum).) в пустоте необъятной мятутся

*Так о великих вещах помогают составить понятие
Малые вещи, пути намечая для их постиженья*

Эта модель мятущихся пылинок, нарисованная Лукрецием, аналогична современной картине броуновского движения; видимое движение пылинок возникает от невидимых толчков атомов:

*Так, исходя от начал, движенье мало-помалу
Наших касается чувств, и становится видимым также
Нам и в пылинках оно, что движутся в солнечном свете,
Хоть не заметны толчки, от которых оно происходит.*

Гениальные догадки древних атомистов предопределили будущий успех атомной теории материи.

Атомистика Эпикура–Лукреция продолжала линию научного развития доаристотелевского периода. В своей поэме Лукреций обсуждает воззрения Гераклита Эфесского, Эмпедокла, Анаксагора, Демокрита, критически оценивая их и предлагая эпикурейский вариант атомистики. Он примыкает к этой линии и по методу диалектического рассуждения. Хотя Лукреций и не прибегает к диалогу, полемический характер многих частей поэмы роднит его с диалектиками предшествующей эпохи. Но атомистика послеаристотелевской эпохи носит и существенно новые черты: она более конкретна, более «физична», чем теория Аристотеля и атомистика Демокрита. Атомы Демокрита по существу чисто геометрические образы, они характеризуются только формой и объемом. У Эпикура и Лукреция атомы обладают весом, плотностью (твердостью) и, наконец, внутренней способностью к самопроизвольным отклонениям от прямолинейного движения. Приведенная выше модель движения атомов в пустоте показывает, как развилось конкретное физическое мышление в послеаристотелевскую эпоху. Естествознание в эту эпоху стало переходить из сферы отвлеченного, философского размышления о природе в сферу конкретных фактов и явлений. В эллинистическую эпоху греческая математика, механика и астрономия наряду с другими отраслями знаний достигли своего наивысшего развития. Греческая наука перешла от рассмотрения мира в целом к дифференцированному знанию, из единой науки выделились и развились отдельные науки, естественные и гуманитарные.

В чем причина такого изменения характера науки? Основная причина заключается в изменении исторических условий, в новых общественных потребностях. Походы Александра Македонского требовали не только полководческого искусства, но и конкретных знаний и умений. Войско сопровождали инженеры и строители. Со времен Александра необычайно развилась военная и строительная техника. Профессия инженера стала пользоваться общественным признанием и уважением.

Новые торговые, политические и экономические связи охватили огромную территорию от Индии и Средней Азии до Пиренеев. Астрономия, география, а с ними и естествознание в целом стали общественно необходимыми. Не случайно наследники империи Александра проявляли большую заботу об ученых, создавали условия, обеспечивающие им возможность спокойной научной работы. Уже первый Птолемей привлекал в Александрию ученых, создавал библиотеку, при втором Птолемеи возникло знаменитое научное учреждение древнего мира – Александрийский музей. Если Академия Платона и Лицей Аристотеля были предшественниками современных университетов, в которых сочетается научная и педагогическая работа, то Александрийский музей можно рассматривать как предшественник современных научно-исследовательских институтов. К

услугам ученых были библиотека, обсерватории, коллекции, ученые получали полное содержание и могли не заботиться о средствах к существованию. Все это обеспечивало ведущую роль Александрии в научном прогрессе эллинистической эпохи, так что нередко эллинистический период в истории науки называют Александрийским.

Почти каждый ученый эллинистической эпохи был связан с Александрией если не личным контактом, то научной перепиской, которая в этот период получила большое развитие. Знаменитый Архимед сообщал свои результаты в форме писем, направленных из Сиракуз александрийским математикам. В Александрии жили и работали крупные ученые: геометр Евклид, географ и математик Эратосфен, астрономы Конон, Аристарх Самосский и позже Клавдий Птолемей. С Александрией были связаны жившие на острове Родосе математик Аполлоний Пергский, астроном Гиппарх и сиракузянин Архимед. В развитии науки особенно важную роль сыграли Евклид и Архимед.

Евклид (жил в III в. до н. э.) подытожил и систематизировал математические знания своих предшественников, из коих его учителем был знаменитый ученый Евдокс Книдский. «Начала» Евклида представляют собой изложение той геометрии, которая известна и поныне под названием евклидовой геометрии. Она описывает метрические свойства пространства, которое современная наука называет евклидовым пространством. Евклидово пространство является ареной физических явлений классической физики, основы которой были заложены Галилеем и Ньютоном.

Это пространство пустое, безграничное, изотропное, имеющее три измерения. Евклид придал математическую определенность атомистической идее пустого пространства, в котором движутся атомы. Простейшим геометрическим объектом у Евклида является точка, которую он определяет как то, что не имеет частей. Другими словами, точка – это неделимый атом пространства.

Бесконечность пространства характеризуется тремя постулатами: «От всякой точки до всякой точки можно провести прямую линию».

«Ограниченную прямую можно непрерывно продолжить по прямой».

«Из всякого центра и всяким раствором может быть описан круг».

Учение о параллельных и знаменитый пятый постулат («Если прямая, падающая на две прямые, образует внутренние и по одну сторону углы, меньшие двух прямых, то продолженные неограниченно эти две прямые встретятся с той стороны, где углы меньше двух прямых») определяют свойства евклидова пространства и его геометрию, отличную от неевклидовых геометрий.

Несколько позже Архимед дал еще одну характеристику евклидова пространства, приняв следующее допущение: «Из всех линий, имеющих одни и те же концы, прямая будет наименьшей». Прямая линия в евклидовой геометрии является геодезической линией, т. е. линией, имеющей наименьшую длину. Евклидово пространство является плоским.

Конечно, все эти особенности евклидова пространства были открыты не сразу, а в результате многовековой работы научной мысли, но отправным пунктом этой работы послужили «Начала» Евклида. Знание основ евклидовой геометрии является ныне необходимым элементом общего образования во всем мире.

Евклид заложил основы геометрической оптики, изложенные им в сочинениях «Оптика» и «Катоптрика». Основное понятие геометрической оптики – прямолинейный световой луч. Евклид принимает, что световой луч исходит из глаза (теория зрительных лучей), что для геометрических построений не имеет существенного значения. Он знает закон отражения и фокусирующее действие вогнутого сферического зеркала, хотя точного положения фокуса определить ещё не может. Во всяком случае в истории физики имя Евклида как основателя геометрической оптики не заняло надлежащее место.

Архимед

Архимед родился в 287 г. до н. э. в Сиракузах, на острове Сицилия. Сицилия была

дальним западным форпостом греческой культуры. Здесь жил и умер Эмпедокл, сюда приезжал Платон осуществлять свои идеи об идеальной структуре рабовладельческого государства, и еще в годы детства Архимеда эпирский царь Пирр вел здесь войну с римлянами и карфагенянами, пытаясь создать новое греческое государство. В этой войне отличился один из родственников Архимеда—Гиерон, ставший в 270 г. до н. э. правителем Сиракуз. Отец Архимеда, астроном Фидий, был одним из приближенных Гиерона, и это открыло ему возможность дать сыну хорошее образование. Но Архимед не поехал в Афины, а отправился в Александрию, где у него сложились дружеские отношения с астрономом Кононом, математиком и географом Эратосфеном, с которыми он поддерживал в дальнейшем научную переписку.

Архимед вернулся в Сицилию зрелым математиком, однако первые его труды были посвящены механике. Интересно отметить, что Архимед в своих математических работах нередко опирается на механику. Он использует принцип рычага при решении ряда геометрических задач. Вообще говоря, Архимед был представителем математической физики, вернее, физической математики.

Принцип рычага и учение о центре тяжести являются важнейшими (наряду с законом Архимеда) научными достижениями Архимеда в области механики.

Архимед был не только математиком и механиком. Он был одним из крупнейших инженеров своего времени, конструктором машин и механических аппаратов. Он изобрел машину для поливки полей («улитку»), водоподъемный винт и особенно успешно разрабатывал конструкции военных машин. Это был первый ученый, уделявший много внимания и сил военным задачам. К этому его побуждало политическое положение Сиракуз. Архимеду было 23 года, когда началась 1-я Пуническая война между Римом и Карфагеном, и 69 лет, когда началась 2-я Пуническая война, во время которой он и погиб (212 г. до н. э.).

В борьбе между Римом и Карфагеном вопрос об обладании Сицилией занимал важное место. Оба могущественных государства прилагали немало усилий, чтобы склонить на свою сторону Сиракузы. Гиерон и его преемники стремились всячески сохранить независимость, но понимали, что военное столкновение с Римом неизбежно, и готовились к грядущей тяжелой военной схватке. В оборонительных планах Сиракуз военная техника занимала видное место, и инженерный гений Архимеда сыграл при этом огромную роль.

Под руководством Архимеда сиракузяне построили множество машин различного назначения. Когда римляне высадили в Сицилии сухопутное войско под предводительством Аппия Клавдия, а под стенами Сиракуз появился римский флот под командованием Марцелла, то наступила очередь Архимеда.

Предоставим слово греческому историку Плутарху, написавшему биографию Марцелла: «При двойной атаке римлян (т. е. с суши и с моря. - П. К.) сиракузцы онемели, пораженные ужасом. Что они могли противопоставить таким силам, такой могущественной рати? Архимед пустил в ход свои машины. Сухопутная армия была поражена градом метательных снарядов и громадных камней, бросаемых с великой стремительностью. Ничто не могло противостоять их удару, они все низвергали пред собой и вносили смятение в ряды. Что касается флота – то вдруг с высоты стен бревна опускались, вследствие своего веса и приданной скорости, на суда и топили их. То железные когти и клювы захватывали суда, поднимали их в воздух носом вверх, кормом вниз и потом погружали в воду. А то суда приводились во вращение и, кружась, попадали на подводные камни и утесы у подножия стен. Большая часть находя щихся на судах погибала под ударом. Всякую минуту видели какое-нибудь судно поднятым в воздухе над морем. Страшное зрелище!...»

Попытка Марцелла противопоставить технике Архимеда римскую военную технику потерпела крах. Архимед разбил громадными камнями осадную машину «самбуку», и Марцеллу пришлось увести флот в безопасное место, дать приказ об отходе сухопутной армии и перейти к длительной осаде. Архимед погиб вместе с родным городом, убитый римским солдатом при взятии Сиракуз. Таким образом, Архимед вошел в историю как один из первых ученых, работавших на войну, и как первая жертва войны среди людей науки.

Остановимся на результатах его исследований в области физики. Основные научные проблемы, выдвинутые развитием техники древнего мира, были в первую очередь проблемами статики. Строительная и военная техника была теснейшим образом связана с вопросами равновесия и подвела к выработке понятия центра тяжести. В основе строительной и военной техники лежал рычаг. Рычаг позволял поднимать большие тяжести, преодолевая значительные сопротивления, затрачивая относительно небольшие усилия. Он и основанные на нем машины помогли человеку «перехитрить» природу. Отсюда и пошло название «механика». Греческое слово «механе» означало орудие, приспособление, осадную или театральную машину, а также уловку, ухищрение.

Архимед



В течение многих веков механика рассматривалась как наука о простых статических машинах. Ее основой была теория рычага, изложенная Архимедом в сочинении «О равновесии плоских фигур». В основе этой теории лежат следующие постулаты:

1. Равные тяжести на равных длинах уравниваются, на неравных же длинах не уравниваются, но перевешивают тяжести на большей длине.
2. Если при равновесии тяжестей на каких-нибудь длинах к одной из тяжестей будет что-нибудь прибавлено, то они не будут уравниваться, но перевесит та тяжесть, к которой было прибавлено.
3. Точно так же если от одной из тяжестей будет отнято что-нибудь, то они не будут уравниваться, но перевесит та тяжесть, от которой не было отнято.

Не подлежит сомнению, что постулаты проверены длительной технической практикой, которая делает их «очевидными». Основываясь на этих постулатах, Архимед доказывает следующие теоремы: «Соизмеримые величины уравниваются на длинах, которые будут обратно пропорциональны тяжестим». И далее: «Если величины будут несоизмеримы, то они точно так же уравниваются на длинах, которые обратно пропорциональны этим величинам». В этих предложениях содержится первая точная формулировка закона рычага. При этом под «величинами» следует понимать модули сил, действующих на рычаг.

Кроме закона рычага, в книге «О равновесии плоских фигур» содержатся определения центров тяжести треугольника, параллелограмма, трапеции, параболического сегмента, трапеции, боковые стороны которой являются дугами парабол. Понятие центра тяжести предполагается известным, и в начале книги приводятся постулаты о центрах тяжести (при совмещении конгруэнтных фигур центры тяжести совмещаются; центры тяжести подобных фигур подобно же расположены; у фигур с выпуклым периметром центр тяжести находится

внутри фигуры). Само же определение центра тяжести, данное Архимедом, встречается в сочинении Паппа Александрийского, жившего в конце III в. н. э. Это определение гласит: «Центром тяжести каждого тела является некоторая расположенная внутри его точка – такая, что если за нее мысленно подвесить тело, то оно остается в покое и сохраняет первоначальное положение». Чтобы прийти к этому определению, понадобился длительный практический опыт, обобщением которого и явилась механика Архимеда.

Как мы уже говорили, Архимед использовал полученные им в механике результаты для формулировки математических выводов. Так, он использует закон рычага при вычислении площади параболического сегмента и объема шара. Эти вычисления Архимеда являются начальным этапом интегрального исчисления.

Переходим теперь к знаменитому закону Архимеда. Этот закон изложен в сочинении «О плавающих телах»

Сиракузы были портовым и судостроительным городом. Вопросы плавания тел ежедневно решались практически, и выяснить их научные основы, несомненно, казалось Архимеду актуальной задачей. Правда, существует легенда, что Архимед пришел к своему закону, решая задачу, содержит ли золотая корона, заказанная Гиероном мастеру, посторонние примеси или нет. Но задача, поставленная Гиероном, требовала знания объема короны и объема золота того же веса и, собственно, закона Архимеда для своего решения не требовала.

Вероятно, мотивы работы Архимеда были все же более глубокими. Он разбирает не только условия плавания тел, но и вопрос об устойчивости равновесия плавающих тел различной геометрической формы. Научный гений Архимеда в этом сочинении, оставшемся, по-видимому, незаконченным, проявляется с исключительной силой. Полученные им результаты получили современную формулировку и доказательство только в XIX в.

Сочинение Архимеда начинается описанием природы жидкости, которая, по Архимеду, такова, «что из ее частиц, расположенных на одинаковом уровне и прилегающих друг к другу, менее сдавленные выталкиваются более сдавленными, и что каждая из ее частиц сдавливается жидкостью, находящейся над ней, по отвесу». Это определение позволяет Архимеду сформулировать основное положение: «Поверхность всякой жидкости, установившейся неподвижно, будет иметь форму шара, центр которого совпадает с центром Земли».

Таким образом, Архимед считает Землю шаром и поверхность тяжелой жидкости, находящейся в равновесии в поле тяжести Земли, сферической. Он доказывает далее, что тела одинакового удельного веса с жидкостью (он называет их «равнотяжелыми с жидкостью») погружаются настолько, что их поверхность совпадает с поверхностью жидкости. Более легкое тело погружается настолько, что объем жидкости, соответствующий погруженной части тела, имеет вес, равный весу всего тела. Путем логических рассуждений

Архимед приходит к предположениям, содержащим формулировку его закона:

«VI. Тела более легкие, чем жидкость, опущенные в эту жидкость насильственно, будут выталкиваться вверх с силой, равной тому весу, на который жидкость, имеющая равный объем с телом, будет тяжелее этого тела».

«VII. Тела более тяжелые, чем жидкость, опущенные в эту жидкость, будут погружаться, пока не дойдут до самого низа, и в жидкости станут легче на величину веса жидкости в объеме, равном объему погруженного тела». В остальных предложениях первой и второй книги Архимед разбирает условия равновесия тел, плавающих в жидкости, причем тела имеют форму сферического или параболического сегмента.

Как было уже сказано, выводы, полученные Архимедом, были подтверждены и развиты математиками и механиками XIX в., установившими такие понятия, как «плоскость плавания», «поверхность сечений», «поверхность центров», «метацентр». Основы гидростатики были заложены Архимедом и лишь в конце XVI и первой половине XVII столетия были развиты Стевиным, Галилеем, Паскалем и другими учеными.

Кроме математики и механики, Архимед занимался оптикой и астрономией.

Сохранилась легенда о том, что Архимед использовал в борьбе с римским флотом вогнутые зеркала, поджигая корабли сфокусированными солнечными лучами. Имеются сведения о том, что Архимедом было написано не дошедшее до нас большое сочинение по оптике под названием «Катоптрика». Из дошедших до нас отрывков, цитируемых древними авторами, видно, что Архимед хорошо знал зажигательные действия вогнутых зеркал, проводил опыты по преломлению света, знал свойства изображений в плоских, выпуклых и вогнутых зеркалах.

О занятиях Архимеда астрономией свидетельствуют рассказы о построенной им астрономической сфере, захваченной Марцеллом как военный трофей, и сочинение «Псаммит», в котором Архимед подсчитывает число песчинок во Вселенной. Сама постановка задачи представляет большой исторический интерес: точное естествознание впервые приступило к подсчетам космического масштаба, пользуясь неудобной системой чисел. Результат, полученный Архимедом, выражается в современных обозначениях числом 1063. Кроме того, в сочинении Архимеда впервые в истории науки сопоставляются две системы мира; геоцентрическая и гелиоцентрическая. Архимед указывает, что «большинство астрономов называют миром шар, заключающийся между центрами Солнца и Земли».

Архимед сообщает далее, что Аристарх Самосский предполагает мир гораздо большим. «Действительно, он предполагает, что неподвижные звезды и Солнце находятся в покое, а Земля обращается вокруг Солнца по окружности круга, расположенного посередине между Солнцем и неподвижными звездами...» Архимед интерпретирует мысль Аристарха как равенство отношения размеров мира к размерам Земли, отношению радиуса сферы неподвижных звезд к радиусу земной орбиты. Таким образом, Архимед принимает мир хотя и очень большим, но конечным, что позволяет ему довести свой расчет до конца.

Архимед – вершина научной мысли древнего мира. Последующие ученые – Герон Александрийский (1–11 вв. до н. э.), Папп Александрийский (III в н. э.) – мало что прибавили к наследию Архимеда, и их труды по механике носят компилятивный характер.

Со времен Герона и Паппа механику стали принимать как науку о простых машинах, из которых основными считались пять; ворот, рычаг, блок, клин и винт. Последние две машины основаны на свойствах наклонной плоскости, закон действия которой не был известен ни самому Архимеду, ни последующим древним и средневековым авторам.

Герон прославился как изобретатель остроумных автоматов и эолипила, первого теплового двигателя, представляющего по своей сути модель первой паровой турбины. Правда, эолипил Герона никакой полезной работы не производил и оставался забавной игрушкой. Это показывает, что преждевременные открытия не получают развития до тех пор, пока не созреют условия для их освоения и разработки. История теплового двигателя началась только в XVII в. после открытия атмосферного давления. Любопытно, что многие автоматы Герона по существу были основаны на действии атмосферного давления, хотя сам Герон, конечно, никакого представления о давлении воздуха не имел и действие широко применяемого им сифона объяснял неразрывностью водяной струи.

Следует отметить также, что Герон Александрийский впервые обосновал закон отражения света принципом наименьшего времени: световой луч отражается от зеркала таким образом, что световой путь, соединяющий источник света, зеркало и приемную точку, требует для своего прохождения наименьшего времени. Так началась история важного для оптики вариационного принципа ферма – Гамильтона...

Говоря об оптике древности, следует отметить, что древние ученые, в том числе и Архимед, сделали ряд интересных наблюдений по преломлению света и метеорологической оптике. Однако точный закон преломления им не был известен. Великий астроном древнего мира Клавдий Птолемей, с удивительным искусством разработавший теорию движения планет по геоцентрической системе мира, производил довольно точные измерения углов падения и преломления света в воде, в стекле. Однако из своих данных он не вывел закон преломления и считал угол преломления пропорциональным углу падения. Такой формулировкой закона преломления пользовался и Кеплер, да и сейчас в элементарных

учебниках при выводах формул линз, полагая углы падения небольшими (оптика «нулевых пучков»), заменяют синусы углов самими углами.

Что касается оптических теорий древних, то в таком сложном и тонком физическом явлении, как свет, было трудно нащупать правильный подход.

Теория зрительных лучей широко использовалась Евклидом, Архимедом и Птолемеем. Атомисты выдвинули теорию «образов», отделяющихся от вещей и вызывающих в глазу зрительные ощущения. Аристотель, выступая против теории зрительных лучей, думал и о посредствующей среде, и в его неясной формулировке можно усмотреть намек на волновую теорию. Цвета, по Аристотелю, обусловлены смешением темного и светлого. Вообще физика Аристотеля широко оперирует с противоположными качествами: тепло – холод, сухость – влажность, тьма – свет. Эта «физика качеств» получила широкое распространение в эпоху средневековья.

Глава вторая. Физика средневековья

Исторические замечания

Процесс распада рабовладельческого Римского государства и переход к феодализму в Западной Европе происходили в сложной обстановке военных столкновений и движений племен и народностей. Рухнувшая под напором «варварских» племен Римская империя оказывала идеологическое воздействие на эти племена сохранившейся в ней прочной и сильной организацией христианской церкви, сумевшей быстро приспособиться к новым историческим условиям и превратившейся в идеологический оплот феодализма. На Востоке, в Китае и Индии переход к феодализму происходил раньше, чем в Западной Европе, и в своем экономическом и культурном развитии эти страны обогнали ее, что сказалось также и на развитии науки.

Интересное и до некоторой степени загадочное историческое явление произошло на Аравийском полуострове в начале VII в. Там кочевые и полукочевые племена объединились под знаменем новой религии – ислама, провозглаше иной купцом Мухаммедом, и в короткое время создали сильное воинственное государство, завоевавшее Иран, страны Среднего Востока, Египет и проникшее в Европу на Пиренейский полуостров. В истории науки и культуры арабы сыграли важную роль. Они были связующим звеном между восточной и западной культурой, между античной и средневековой наукой. В результате в период раннего средневековья (VII– XI вв.) ведущую роль в развитии науки играл Восток. Лишь в более позднюю эпоху, начиная с крестовых походов, оживляется европейская наука, возникают университеты, появляются крупные ученые. Вместе с тем эта так называемая эпоха развитого феодализма (XI–XV вв.) характеризуется интенсивным ростом производительных сил, развитием ремесла и торговли, подготовившим почву для перехода к новому способу производства – капиталистическому и новой экономической формации – капитализму.

Разложение феодализма и переход к новым экономическим формам происходит с конца XV в. примерно до первой половины XVII в. Этот период имел в истории науки исключительно важное значение, поскольку именно в этот период возникло новое опытное естествознание. Таким образом, история средневековой науки, в том числе и физики, в соответствии с историей общества разбивается на три хронологических отрезка:

1. Период развития науки на Востоке (VII–XI вв.).
2. Период развития европейской феодальной науки (XI–XV вв.).
3. Период возникновения опытного естествознания (конец XV – первая половина XVII в.).

К рассмотрению этих периодов мы и переходим.

Достижения науки средневекового Востока

Западная Европа в эпоху раннего средневековья представляла унылую картину. Редкие деревушки и еще более редкие помещичьи усадьбы были отдельными мирками, слабо связанными между собой, феодал получал все необходимое от своих крепостных, съестные припасы, одежду, обувь, оружие. Не было городов, подобных древнему Риму, Афинам, Александрии, оживленных гаваней, шумных рынков, театров и цирков. Мир средневекового человека ограничивался узкими рамками его деревушки и усадьбы. Немудрено, что и мировоззрение этого человека было столь же ограниченным и сильно уступало мировоззрению образованного афинянина или александрийца. Вся духовная жизнь средневековья, просвещение, искусство, наука – была подчинена церкви.

Средневековый Восток был богаче и культурнее. Столица арабского халифата–Багдад–была украшена роскошными дворцами халифа и его визирей, шумные базары заполняла пестрая разноязычная толпа. Арабские купцы снаряжали караваны и морские суда, в городах выделялись богатые ткани, ковалось замечательное оружие, изготавливались золотые и серебряные украшения. Восток славился пряностями и сладостями, ароматическими веществами. Это был совсем другой мир, мир роскоши и богатства, построенный на труде рабов и крепостных. В этом мире могла найти приют и дать толчок новым знаниям гонимая христианской церковью наука древности.

Широкая торговля давала богатый материал для математических задач, дальние путешествия стимулировали развитие астрономических и географических знаний, развитие ремесла способствовало развитию экспериментального искусства. Поэтому новая математика, удобная для решения вычислительных задач, берет начало на Востоке. Хорезмиец Абу Абдалла Мухаммед ибн Муса аль-Хорезми (ок. 780 –ок. 850), работавший в эпоху просвещенного халифа аль-Мамуна, был автором арифметики и трактата по алгебре. Из арифметического трактата Европа познакомилась с индийской позиционной системой чисел и употреблением нуля, арабскими цифрами, арифметическими действиями с целыми числами и дробями. Алгебраический трактат Хорезми дал имя новому разделу математики – алгебре («Аль-Джабар»). В трактате Хорезми решаются линейные и квадратные уравнения.

Последующие за Хорезми ученые развили новые идеи, заимствовав их, в свою очередь, у индийских математиков, и в XII в. в Европе уже появляются переводы трактатов Хорезми и других восточных авторов. К началу научной революции Коперника – Галилея новая нумерация, алгебра и тригонометрия были не только освоены, но и развиты европейскими учеными.

Труды Аристотеля и Птолемея пришли на кафедры средневековых университетов также в арабских переводах.

Однако задолго до арабов достижения античной науки стали известными в странах Закавказья. Армения и Грузия еще в IV в. установили тесные экономические и культурные связи с Византией. Христианство проникло в эти страны задолго до крещения Руси. Уже в 301 г. христианство стало в Армении государственной религией, идеоло-

гической опорой раннего феодализма. В V–VII вв. на армянский язык были переведены труды Аристотеля, Платона и христианских богословов.

Знаменитый армянский ученый начала VII в. Анания Ширакаци путешествовал в Византию, изучал математику и философию и, вернувшись на родину, основал школу, в которой преподавал математику, астрономию, географию. Им был составлен армянский учебник арифметики, выпущен трактат по космографии. Этот трактат свидетельствует о глубоком знании Ширакаци трудов греческого ученого Аристотеля. В своем сочинении Ширакаци рассматривает и чисто астрономические вопросы: пытается оценить расстояние до Солнца и Луны, составляет календарь, свидетельствующий об основательном знании им движений Солнца и Луны и трудов древних ученых по этому вопросу.

Ширакаци был разносторонним ученым, связавшим молодую армянскую науку с античным наследием. К сожалению, роль закавказских ученых в развитии

естественнонаучных знаний и освоении античного наследия не исследована в достаточной мере. Пример Ширакаци показывает, что Закавказье знало античную науку непосредственно из первоисточника, от самих греков.

Арабы начали культивировать и экспериментальную науку. Мухаммед ибн Ахмед аль-Бируни (Бируни) производил точные определения плотностей металлов и других веществ с помощью изготовленного им «конического прибора». «Конический прибор» Бируни представлял собой сосуд, суживающийся кверху и оканчивающийся Цилиндрической шейкой. Посредине шейки было проделано небольшое круглое отверстие, к которому была припаяна изогнутая трубка соответствующего размера. В сосуд наливали воду. Куски металла, плотность которого определялась, опускали в сосуд, из которого через изогнутую трубку выливалась вода в объеме, равном объему исследуемого металла. Шейка была достаточно узкой («шириной с мизинец»), чтобы «подъем воды был заметен и при опускании того, что по объему равно зерну проса». Сама же трубка после ряда опытов была заменена желобком, чтобы вода по нему стекала без задержки. По измерениям Бируни плотность золота, переведенная на современные единицы измерения, равна 19,5, ртути -13,56.

Бируни



При сравнении с современными данными результаты Бируни оказываются весьма точными. К сожалению, они стали известны в Европе очень поздно. Русский консул в Америке Н.Ханыков в 1857 г. нашел рукопись аль-Хазини под названием «Книга о весах мудрости». В этой книге приведены извлечения из книги Бируни «Об отношениях между металлами и драгоценными камнями в объеме», содержащие описание прибора Бируни и полученные им результаты.

Сам аль-Хазини продолжал исследования, начатые Бируни, с помощью специально сконструированных им весов, которые он назвал «весами мудрости».

Замечательны практические указания, приведенные Бируни о воде, применяемой при определениях плотности. Он указывает на необходимость пользоваться водой из одного и того же источника, в одних и тех же условиях «в связи с воздействием на ее свойства четырех времен года и зависимостью ее от состояния воздуха». Таким образом, Бируни знал, что плотность воды зависит от содержания в ней примесей и от температуры.

Бируни производил также точные астрономические и географические измерения. Он определил угол наклона эклиптики к экватору и установил его вековые изменения. Для 1020 г. его измерения дали значение $23^{\circ}34'0''$. Современные вычисления дают для 1020 г. значение $23^{\circ}34'45''$. Во время путешествия в Индию Бируни разработал метод определения радиуса Земли. По его измерениям, радиус Земли оказался равным 1081,66 фарсаха, т. е. около 6490

км.

Бируни наблюдал и описал изменение цвета Луны при лунных затмениях, явление солнечной короны при полных затмениях Солнца. Он высказал мысль о движении Земли вокруг Солнца и считал геоцентрическую теорию весьма уязвимой. Им было написано обширное сочинение об Индии и переведены на санскритский язык «Начала» Евклида и «Альмагест» Птолемея.

Приведем краткие биографические сведения об этом выдающемся ученом средневекового Востока. Бируни родился 4 сентября 973 г. в главном городе Хорезма Кяте и вырос в среде ремесленников, к которой, возможно, принадлежали и его родители. Тяга к знаниям у него появилась весьма рано, и он уже в юности был тесно связан с научными кругами древнего Хорезма. По его собственному свидетельству, в возрасте 21–22 лет он «производил астрономические измерения при помощи круга, имевшего в диаметре 15 локтей, и других необходимых для этого инструментов». В это время в Хорезме произошел государственный переворот, плохо отразившийся на судьбе Бируни, который вынужден был уехать из Хорезма, проведя на чужбине около десяти лет. По возвращении Бируни становится одним из государственных деятелей Хорезма. Вероятно, в эти годы он проводил измерения плотностей металлов и драгоценных камней. Тогда же он начинает обширную переписку со знаменитым ученым древнего Хорезма Ибн Синой (Авиценной, 980–1037), с которым он обсуждает ряд естественнонаучных вопросов и физику Аристотеля. Бируни резко критикует многие утверждения Аристотеля, тогда как Ибн Сина выступает в роли защитника Аристотеля.

В 1017 г. властитель Хорасана и Афганистана Махмуд завоевал Хорезм, и Бируни вместе с другими пленными был отправлен в Газни, где прожил 13 лет. Несмотря на тяжелые условия, Бируни продолжал научную работу, написав ряд трудов по географии и астрономии, в том числе и знаменитую «Индию».

К моменту окончания «Индии» положение Бируни изменилось. На прес тол взошел сын Махмуда Масуд. Он благосклонно относился к Бируни и покровительствовал ему. Ученый по святил Масуду большое сочинение по астрономии и сферической тригонометрии, известное под название «Канон Масуда». Им были написаны также «Минералогия», «Книга о лечебных веществах». Умер Бируни 13 декабря 1048 г. (по другим сведениям, в 1050 или 1051 г.). По словам известного советского востоковед И.Ю.Крачковского, Бируни был энциклопедистом, охватившим весь круг современных ему наук, в первую очередь математико-физических и почти в такой же мере естественноисторических.

Крупным физиком был современник Бируни египтянин Ибн аль-Хайсам (965–1039), известный в Европе под именем Алхазена. Его основные исследования относятся к оптике. Алхазен развивает научное наследие древних, производя собственные эксперименты и конструируя для них приборы. Он разработал теорию зрения, описал анатомическое строение глаза и высказал предположение, что приемником изображения является хрусталик. Точка зрения Алхазена господствовала до XVII в., когда было выяснено, что изображение появляется на сетчатке.



Отметим, что Алхазен был первым ученым, знавшим действие камер-обскуры, которую он использовал как астрономический прибор для получения изображения Солнца и Луны.

Алхазен рассматривал действие, плоских, сферических, цилиндрических и конических зеркал. Он поставил задачу определения положения отражающей точки цилиндрического зеркала по данным положениям источника света и глаза. Математически задача Алхазена формулируется так: по данным двум внешним точкам и окружности, расположенным в одной плоскости определить такую точку окружности, чтобы прямые, соединяющие ее с заданными точками, образовывали равные углы с радиусом, проведенным к искомой точке.

Задача сводится к уравнению четвертой степени. Алхазен решил ее геометрически. В дальнейшем задачу Алхазена решали такие крупные ученые XVII в., как Гюйгенс и учитель Ньютона Барроу.

Алхазен занимался исследованием преломления света. Он разработал метод измерения углов преломления и показал экспериментально, что угол преломления не пропорционален углу падения. Хотя Алхазен не нашел точной формулировки закона преломления, он существенно дополнил результаты Птолемея, показав, что падающий и преломленный лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным из точки падения луча. Алхазену было известно увеличивающее действие плоско-выпуклой линзы, понятие угла зрения, его зависимость от расстояния до предмета. По продолжительности сумерек он определил высоту атмосферы, считая ее однородной.

В этих предположениях результат получается неточным (до Алхазену, высота атмосферы 52 000 шагов), но сам принцип определения является большим достижением средневековой оптики.

«Книга оптики» Алхазена была переведена на латинский язык в XII в. Однако считалось, что это сочинение – копия труда Птолемея. Только после того как было найдено и опубликовано сочинение Птолемея, стало ясно, что оптика Алхазена – это оригинальный труд, развивающий достижения древних ученых. То, что Алхазен есть не кто иной, как арабский ученый Ибн аль-Хайсам, выяснилось только в XIX в.

На примере Бируни и Алхазена мы видим, как развивалось экспериментальное естествознание на Востоке. Вместе с такими изобретениями, как механические часы, компас, порох, бумага, перенесенными в Европу арабами, и античным наследием оно сыграло огромную роль в развитии европейской цивилизации.

Отметим, что у арабов дальнейшее развитие получила астрономия. Сооружались обсерватории, велись наблюдения за небесными светилами. Мы говорили об астрономических и геодезических измерениях Бируни. Крупным астрономом был внук

знаменитого завоевателя Тимура Улугбек (1394–1449). Он построил в Самарканде обсерваторию, снабдил ее первоклассными по тому времени инструментами. Им были составлены точный каталог звезд и таблица движения планет. Результаты наблюдений, выполненных Улугбеком, характеризуют высокий уровень арабской астрономии.

Астрономические исследования средневековых арабских ученых вместе с другими достижениями арабской науки и техники становились позднее известными в Европе и стимулировали развитие европейской астрономии.



Рис. 1. Лаборатория алхимика (средневековый рисунок)

Европейская средневековая наука

Восточные государства значительно опережали Европу в экономическом и культурном развитии в течение эпохи раннего средневековья (VII–XI вв.) Если, например, Бируни переводил Птолемея, определял радиус Земли, размышлял о гелиоцентрической системе мира, то в Европе господствовали наивные представления о Земле как о плоской лепешке, накрытой хрустальным колпаком и опоясанной океаном.

Один из столпов католической церкви – блаженный Августин – объявил представления об антиподах нелепостью, другой католический авторитет – Фома Аквинский – провозгласил тезис: «философия – служанка богословия».

Однако уже с X в. начинают развиваться экономические и культурные связи Европы и Востока. Большую роль в этом сыграли со второй половины XI в. знаменитые крестовые походы, доставившие европейцам новые сведения: экономические, технические и культурные.

Происходящее в Европе развитие ремесла и торговли способствовало оживлению экономики и культуры. Появляются первые университеты, сначала в Испании, где уже арабами был организован университет в Кордове, затем в Италии, Париже и Англии. Университет средневековой Европы существенно отличался от современного университета, однако до нашего времени сохранились ученые степени доктора и магистра, звания профессора и доцента, лекции как основная форма сообщения знаний, факультеты как подразделения университета. Отмерла такая форма обучения, как диспут, имевшая широкое распространение в средневековых университетах, но научные дискуссии и семинары имеют большое значение и в современной науке, и в высшей школе.



Лекция (буквально – чтение) в средневековом университете по необходимости была основной формой сообщения знаний. Книг было мало, они были дороги, и поэтому чтение и комментирование богословских и научных трудов являлось важной формой информации.

Преподавание велось на латинском языке, равно как и богослужение в католических храмах. До XVIII в. латинский язык был международным научным языком, на нем писали Коперник, Ньютон и Ломоносов.

До сих пор в европейских университетах торжественные речи читаются, а дипломы пишутся на латинском языке. На торжественных актах профессора появляются в средневековых докторских мантиях и шапочках. Так современная наука сохраняет память о первых университетах, возникновение которых явилось одной из главных предпосылок научного прогресса.

Другой предпосылкой будущего расцвета науки послужило развитие техники. Механические часы, очки, книгопечатание, производство бумаги сыграли огромную роль в развитии естествознания. Немалую роль в развитии цивилизации сыграл компас, история которого начинается в Древнем Китае, где в рукописи II в. н. э. встречается указание на свойство намагниченной иглы указывать направление. Уже в XI в. китайцам было известно магнитное склонение. Арабские мореплаватели начиная с XII в. пользовались компасом. В Европу он проникает в XII-XIII вв.

О значении компаса в истории цивилизации свидетельствует тот факт, что именно наличие компаса позволило Колумбу предпринять свое историческое путешествие. «Компас – инструмент малый, но без него не была бы открыта Америка», – любил говорить известный советский ученый академик А. Н. Крылов. Отметим, что Колумб был первым европейцем, обнаружившим склонение магнитной стрелки.

Третья предпосылка научного прогресса – ознакомление с античным научным наследием. В XII в. появляются латинские переводы «Начал» Евклида, трудов Архимеда, Птолемея и других греческих авторов. Тогда же появились переводы Хорезми и Алхазена.

Основным фактором, определившим революционные изменения в развитии общества и науки, было то, что внутри феодального общества вызревали новые производительные силы, пришедшие в противоречие с феодальными производственными отношениями и потребовавшие как новых форм общественного бытия, так и новой науки. Пока же культивировавшаяся в университетах схоластическая наука базировалась на антинаучном по самой сути принципе – истина уже открыта в священном писании и в трудах богословских авторитетов (к которым причислялся и приспособленный к нуждам церковного мировоззрения Аристотель), и долг ученых – изучать и комментировать эту истину.

В этих условиях науке было трудно развиваться; свободная, самостоятельная мысль беспощадно подавлялась. Эта эпоха вошла в историю науки как «период застоя», как «темная ночь средневековья». Однако и в это время жили и работали люди, возвышавшиеся над общим уровнем, искавшие новых путей познания. Таким был, например, знаменитый монах Роджер Бэкон (1214–1294). Бэкон родился в Англии в графстве Сомерсет, учился в Оксфордском и Парижском университетах, в 1250 г. вступил в монашеский орден францисканцев. В Оксфорде он занимался научными исследованиями.

Независимость в мышлении навлекла на него обвинение в ереси, и он был заключен в тюрьму. Освобожденный папой Климентом IV, он уехал во Францию, но там вновь подвергся преследованиям и вышел из тюрьмы только глубоким стариком в 1288 г. Бэкон считал, что ученый не должен сводить науку к толкованию авторитетов. По его мнению, наука должна строиться на строгих аргументах и точном опыте, доказывающем теоретические заключения. Бэкон резко выступал против всеобщего увлечения книгами Аристотеля, вдобавок искаженными невежественными переводчиками. В этом отношении он являлся прямым предшественником Галилея.

Бэкон не ограничивался указанием на большое значение опыта. Он неутомимо экспериментировал и сам производил химические, оптические, физические эксперименты и астрономические наблюдения.

Бэкон знал действие камер-обскуры, увеличивающее действие выпуклых линз, установил, что вогнутые зеркала фокусируют параллельные пучки в точку, лежащую между центром и вершиной зеркала, предвидел возможность построения оптических приборов. Он сделал шаг вперед в объяснении явления радуги, сравнивая ее цвета с радужными цветами при преломлении света в хрустале, в каплях росы, в водяных брызгах.

При этом он установил, что угол, образованный направлением падающего на водяные капли луча с лучом, направленным от радуги в глаз, составляет 42° .

Младший современник Бэкона поляк Вителло (родился около 1230 г.) был автором написанной в 70-х годах XIII в. книги по оптике «Перспектива». Он также исследовал радугу и пришел к выводу, что она образуется от преломления лучей в отдельных водяных каплях.

Ход светового луча в дождевой капле, приводящий к образованию радуги, правильно описал умерший в 1311 г. монах Дитрих (Теодорих) фрейбургский.

Таким образом, в XIII в. радуга привлекала внимание многих исследователей. Следует добавить, что в конце XIII в. были изобретены очки.

XIII век вообще характеризуется оживлением духовной жизни. В этом веке, кроме Бэкона, жили и работали такие деятели, как знаменитый богослов Фома Аквинский, идеалистическая философия которого («томизм») имеет распространение и в современной западной философии; Вильгельм Оккам, выступивший против идеалистической теории о реальном существовании общих понятий; Роберт Большоголовый, занимавшийся оптикой. Интересную фигуру представляет Петр Перегрин – рыцарь Пьер из Марикура, написавший 8 августа 1269 г. в военном лагере «Послание о магните» («Послание о магните Пьера де Марикур, по прозванию Перегрин, к рыцарю Си геру де фукокур»).

В книге автор указывает, по каким признакам можно отобрать хороший «магнитный камень», как распознать полюса магнита. Все эти практические указания свидетельствуют о хорошем знании Марикуром естественных магнитов, о его большом опыте в обращении с магнитом. Марикур дает инструкцию проведения опыта, показывающего, что разноименные полюса магнита притягиваются, а одноименные – отталкиваются.

Пьер де Марикур описывает подробно свойство плавающего магнита указывать на север «к звезде, которую называют мореходной, оттого, что она находится около полюса; но на самом деле он поворачивается не к упомянутой звезде, а к полюсу...» Далее Перегрин указывает, что если целый продолговатый магнит А О разломить на две части, то получится два магнита АВ и СО с двумя полюсами. Если магниты сблизить, они соединятся в месте разлома ВС.

Во второй части своего послания Марикур описывает конструкцию магнитного

инструмента, «при помощи которого определяют на горизонте азимут Солнца, Луны и любой звезды», а также проект вечного двигателя с магнитом. Сочинение Пьера де Марикура представляет собой видную веху в ранней истории магнетизма. На фоне рассказов о фантастических свойствах магнитного камня, которые были в ходу даже спустя столетия после «Послания», сочинение Марикура выглядит как первое серьезное экспериментальное исследование магнетизма, а сам Мари-кур – как ученый-экспериментатор, строящий свои выводы на основе опытов. Роджер Бэкон высоко ценил Марикура, называя его в своих сочинениях «магистр Петр» и превознося его ученые заслуги. В «Послании» Марикур упоминает о своем не дошедшем до нас сочинении «О действиях зеркала», свидетельствующем, что он занимался не только магнетизмом, но и оптикой. Прозвище Марикура «Перегрин» – странник – указывает на то, что он много путешествовал и, по-видимому, бывал на Востоке.

В XIV в. начинается реакция. Усиливается со стороны церкви борьба с «ересью», вводится пытка. Было осуждено учение и сожжен труд Николая из Отрикура, который, следуя атомистам, утверждал, что в мире нет ничего, кроме сочетания и разделения атомов. Он был вынужден отречься от своего учения. Церковь осудила также учение Вильгельма Оккама, который защищал возможность двух видов познания – научного и божественного откровения – и требовал свободы для научного познания. Тем не менее и в XIV в. жизнь не стояла на месте. Продолжается развитие техники, появляются башенные колесные часы в Париже, в Германии, в Москве. В 1440 г. Иоганн Гуттенберг (1400-1468) изобретает книгопечатание отдельными вырезными буквами. Наступала новая эпоха в развитии цивилизации и науки.



Рис. 2. Книгопечатание

Глава третья. Борьба за гелиоцентрическую систему

Исторические замечания

С середины XV в. в экономическом, политическом и культурном развитии Европы совершенно отчетливо выступают новые черты. Рост городов и отделение ремесленного (промышленного) производства от сельского хозяйства разрушали натуральное хозяйство, развивалась торговля, возрастало значение денег, появились новые общественные силы: купцы, банкиры, богатые ремесленники (буржуазия). Заинтересованная в росте производительности труда, буржуазия поощряла технические и организационные усовершенствования производства, появились первые мануфактуры, феодальные порядки мешали развитию промышленности и торговли, буржуазия нуждалась в крепком государстве, противостоящем удельным притязаниям феодалов, и в Европе начался процесс формирования национальных государств. Одновременно усиливалось недовольство бесправных крестьянских и городских масс, начиналась эпоха народных восстаний, направленных против власти феодалов и притязаний богатых горожан. Принимая религиозную, идеологическую окраску, эти восстания являлись выступлением и против духовной диктатуры церкви. Началось широкое протестантское движение в Германии, Швейцарии, Англии, Франции, сломившее диктатуру католицизма.

В этой бурной политической обстановке рождалось новое мировоззрение и новое естествознание. Историческую эпоху, вызвавшую к жизни новую науку, очень ярко и точно обрисовал ф. Энгельс. Характеризуя историческую обстановку, в которой рождалось опытное естествознание, Энгельс, в частности, указал на великие географические открытия, в результате которых «были заложены основы для позднейшей мировой торговли и для перехода ремесла в мануфактуру, которая, в свою очередь, послужила исходным пунктом для современной крупной промышленности».(*Энгельс ф. Диалектика природы. – Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 20, с. 346.*)

После крестовых походов и захвата Византии турками поиски путей к сказочным богатствам Востока занимали умы предприимчивых европейцев, и прежде всего обитателей Пиренеев, раньше всех соприкоснувшихся с восточной культурой. Под эгидой испанского короля генуэзец Колумб предпринял смелый поход в Индию западным путем. Путешествие Колумба в 1492 г. привело к открытию новых земель, которые сам Колумб считал Индией. Позднейшие путешественники доказали, что это Новая Земля, и назвали ее (по имени одного из путешественников Америго Веспуччи) Америкой.

В 1519–1522 гг. экспедиция фердинанда Магеллана совершила первое кругосветное путешествие, доказав экспериментально шарообразность Земли и по существу открыв ее как космическое тело. После Магеллана держаться устаревших средневековых представлений о Земле стало невозможно. Магеллан открыл путь новому пониманию Вселенной, и такое понимание было дано Николаем Коперником. Оно подготавливалось не одними географическими открытиями. Уже в XV в. были люди, провозгласившие новый подход к пониманию природы.

В своем труде «Диалектика природы» ф.Энгельс писал о людях, подготовивших переворот в естествознании и мировоззрении. Начиная со второй половины XV столетия на историческую арену выходят великие художники итальянского Возрождения: Микеланджело, Леонардо да Винчи, Рафаэль и другие; религиозные реформаторы: Лютер и Кальвин; великие гуманисты: Томас Мор, Эразм Роттердамский, Франсуа Рабле и другие; отважные путешественники: Колумб, Васко да Гама, Магеллан и многие другие; ученые: Николай Кузанский, Тарталья, Кардано, Рамус, Коммандино, Телезий, Гвидо Убальди, Порта. Список имен можно было бы значительно расширить. «...Эпоха... нуждалась в титанах и... породила титанов по силе мысли, страсти и характеру, по многосторонности и учености», – писал Энгельс. Среди этих титанов Энгельс называет одним из первых Леонардо да Винчи, который «был не только великим живописцем, но и великим математиком, механиком и инженером, которому обязаны важными открытиями самые разнообразные отрасли физики».(*Энгельс ф. Диалектика природы. – Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 20, с. 346.*)

Леонардо да Винчи прожил беспокойную жизнь. Он родился вблизи небольшого

городка Винчи 14 апреля 1452 г., обучался живописи и ваянию у флорентийского художника Вероккио. С 1472 по 1482 г. он жил и работал во Флоренции, затем переехал в Милан, где создал свою знаменитую «Тайную вечерю». После захвата Милана французами в 1499 г. Леонардо вернулся во Флоренцию. Однако, не найдя здесь благоприятных условий для осуществления своих замыслов, он в 1506 г. вернулся в Милан. В 1512 г. сын миланского герцога Моро отобрал Милан у французов, но обеспечить порядка не мог, и Леонардо уехал в Рим, где работал при папском дворе. В Риме им была создана знаменитая «Джоконда». В 1516 г. по приглашению французского короля он уехал во Францию, где и умер 2 мая 1519 г.

От Леонардо осталось большое количество заметок и проектов. Он записывал их зеркальным письмом, перемежая записи прямым письмом. Многие слова он записывал сокращенно и слитно с другими словами. Это очень затрудняло расшифровку его рукописей. Их начали расшифровывать и издавать в XIX в. В 1881-1891 гг. было издано шесть томов рукописного наследия Леонардо, которые были затем переизданы.

Во время завоевания Италии Бонапарт вывез из Милана 13 рукописей Леонардо. Анализ физико-математических рукописей был сделан профессором Вентури, который доложил о них в 1797 г. в Национальном институте (французская Академия наук в Париже). Вентури высоко оценил научное наследие Леонардо и считал, что его надо «поставить во главе всех тех, кто в новое время занимался физико-математическими науками, придерживаясь правильного метода». Вентури был совершенно прав. Леонардо резко выступает против схоластического метода и бесплодных богословских дискуссий, противопоставляя им знание, основанное на опыте.

«Мне кажется, – пишет он, – что пусты и полны заблуждений те науки, которые не порождены опытом – отцом всякой достоверности – и не завершаются в наглядном опыте...» Он считает сомнительным то, «что восстает против ощущений, каковы вопросы о сущности бога и души и тому подобное, по поводу которых всегда спорят и сражаются». «Истинные науки, – продолжает Леонардо, – те, которые опыт заставил пройти сквозь ощущения и наложил молчание на язык спорщиков».

Леонардо очень точно изложил основы метода нового естествознания: опыт и математический анализ. «Все наше познание начинается с ощущений», – пишет он. «Мудрость – есть дочь опыта». «Никакой достоверности нет в науках там, где нельзя приложить ни одной из математических наук, и в том, что не имеет связи с математикой».

Говоря специально о механике, Леонардо утверждает: «Механика есть рай математических наук, посредством нее достигают математического плода».

Леонардо, таким образом, действительно является предшественником Галилея, Декарта, Кеплера, Ньютона и других основателей современного естествознания. Он одним из первых начал борьбу со схоластическим методом, провозгласил основы нового метода и начал применять его к решению конкретных задач, в частности к изучению движения. Вопреки Аристотелю, утверждающему, что движение требует для своего сохранения силы, Леонардо писал: «Всякое движение стремится к своему сохранению, или иначе: всякое движущееся тело всегда движется, пока сохраняется в нем сила его двигателя». «Всякое движение будет продолжать путь своего бега по прямой линии, пока в нем будет сохраняться природа насилия, произведенного его двигателем».

Это еще не открытие инерции и не формулировка закона инерции, но уже и не аристотелевский вывод из повседневных наблюдений. Леонардо живет в другое время, существенно отличное от времени Аристотеля. Он знает порох, наблюдал неоднократно полет снарядов и пуль, и число наблюдаемых движений, продолжающихся и после действия толкающей силы, у него больше, чем у Аристотеля. Поэтому он делает следующий шаг в понимании природы движения и фиксирует в природе наличие инерции и инерционного движения, приписывая его сохранению «природы насилия». «Насильствен-ность, – записывает Леонардо, – складывается из четырех вещей: тяжести, силы, движения и удара». И в этом утверждении отражается механический опыт Леонардо.

«Сила есть причина движения, движение есть причина силы... Сила при некоторых

своих действиях, разрушаясь, переходит на то тело, которое мчится впереди и при помощи движения рождает удар большей действенности, а после себя оставляет разрушение, как это видно при движении ядра, гонимого силой бомбарды».

По мнению Леонардо, сила рождается двояким образом: «Во-первых, при внезапном увеличении редкого тела в плотном; таково увеличение огня в бомбарде, – не находя в ее полости достаточного вместилища для своего прироста, он бешено мчится к более обширному пространству, гоня всякое препятствие, противостоящее его стремлению». То же, по мнению Леонардо, производит течение воды и ветер.



Леонардо
да Винчи

«Во-вторых, сила создается в телах согнутых и скрученных вопреки их естественному состоянию – таковы самострел или другое подобное орудие, которое неохотно дает себя согнуть и, будучи нагружено, стремится распрямиться; и лишь только им дана свобода, они с бешенством гонят ту вещь, которая противилась их бегу».

В записях Леонардо немало рассуждений о тяжести, легкости, силе как «духовной способности» в духе средневековых схоластов. Но когда он размышляет над конкретными вещами, над действием бомбард, самострелов, течением воды и воздуха, у него возникают те идеи, которые в своем развитии приводят к основным понятиям механики.

Механика Леонардо, Галилея и Ньютона обобщила новую практику артиллеристов, конструкторов оружия, кораблестроителей, мореплавателей. В распоряжении Аристотеля не было такого богатого механического опыта, и он, прекрасно понимая, например, что в пустом однородном пространстве тело будет покоиться или вечно двигаться, считал это невозможным в реальной среде.

Наблюдательность и острота физического мышления Леонардо позволили ему сделать интересные наблюдения и сформулировать ряд положений и задач. Так, он фиксирует важное свойство звуковых и водяных волн распространяться, не мешая друг другу (принцип суперпозиции): «Хотя звуки, проникающие в этот воздух, кругообразно расходятся от своей причины, тем не менее круги, распространяющиеся от различных исходных точек встречаются друг с другом... и проходя \ один через другой, всегда сохраняя в качестве центра свою причину. Так как во всех случаях движения вода имеет большое сходство с воздухом, я свяжу это ради примера с выше приведенным положением. Я говорю: если бросишь одновременно два камешка на некотором расстоянии друг от друга на гладкую и неподвижную поверхность воды, то увидишь, как вокруг обоих мест удара возникают два независимых друг от друга множества кругов, которые, растая, наконец встретятся, потом войдут одно в другое, пересекаясь друг с другом и всегда сохраняя в качестве своего центра

те места, куда камни ударились».

Вот еще одно важное наблюдение Леонардо: «Можно создать гармоничную музыку из различных каскадов, как я видел у источника в Римини, – как я видел это 8 августа 1502 года».

Пройдет почти 200 лет, и аналогичное наблюдение запишет Гюйгенс. О нем вспомнят в дискуссии о природе белого цвета в конце XIX в., а о более раннем наблюдении Леонардо забудут. Это вполне естественно. Шифрованные записи Леонардо не вошли своевременно в жизнь науки, и его богатое научное наследие не смогло послужить делу научного прогресса.

Но то, что Леонардо жил, работал, думал, имело огромное значение. Устой средневековой науки расшатывались, и деятельность Леонардо, художника, инженера, мыслителя, помогала сокрушать старое и создавать новое.



Н. Коперник

Научная революция Коперника

«Революционным актом, которым исследование природы заявило о своей независимости и как бы повторило лютеровское сожжение папской буллы, было издание бессмертного творения, в котором Коперник бросил – хотя и робко и, так сказать, лишь на смертном одре – вызов церковному авторитету в вопросах природы. Отсюда начинается освобождение естествознания от теологии, хотя выяснение между ними отдельных взаимных претензий затянулось до наших дней и в иных головах далеко еще не завершилось даже и теперь» (*Энгельс ф Дialeктика природы. - Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 20 с. 347.*) Так охарактеризовал Энгельс значение великого творения Коперника, сыгравшего огромную роль не только в истории естествознания, но и в истории мировой культуры.

Геоцентрическое мировоззрение опиралось на длительный общечеловеческий опыт. Человек пахал землю, строил города, не подозревая, что Земля с огромной скоростью движется в мировом пространстве. Он ежедневно наблюдал восход и заход Солнца, суточное движение звезд, которые вращались вокруг Земли самым явным образом. Гениальные догадки Аристарха Самосского и пифагорейцев о движении Земли настолько противоречили этому повседневному опыту, что не смогли оставить глубокого следа в сознании людей и, наоборот, только укрепляли позиции сторонников геоцентризма. Вдобавок это укоренившееся мировоззрение было освящено авторитетом церкви. В «Библии» описывалось, как полководец Иисус Навин приказал Солнцу: «Стой, Солнце!» И по воле бога Солнце остановилось и стояло до тех пор, пока полководец не взял город. Это библейское сказание выдвигалось как неопровержимый аргумент в пользу геоцентрического

мировоззрения.

Сторонникам нового мировоззрения необходимо было огромное мужество, чтобы выступить против многовековой традиции. Такое выступление носило характер подлинной революции в мировоззрении.

Николай Коперник, человек, сделавший этот революционный шаг, был сыном своей эпохи, одним из титанов, о которых писал ф. Энгельс. Энгельс подчеркивал, что эти люди не кабинетные ученые, а «живут в самой гуще интересов своего времени, принимают живое участие в практической борьбе...».(*Энгельс ф. Диалектика природы. - Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 20, 347*) Именно таким человеком и был Коперник.

Николай Коперник, сын краковского купца, родился 19 февраля 1475 г. в польском городе Торуне на Висле. Он учился сначала в Краковском университете, затем в Болонье и Падуе, где изучал право и медицину. Одновременно Коперник с большим увлечением занимался математикой и астрономией, проводил астрономические наблюдения. После десятилетнего пребывания в Италии, получив в ферраре докторскую степень, Коперник вернулся на родину разносторонне образованным ученым, с обширными познаниями в области математики, астрономии, права, медицины, философии, греческих и новых языков. С 1512 г. он занимает должность каноника во фромборке, главном городе Вармии, руководя не только церковными, но и хозяйственными, дипломатическими и военными делами своей епархии. Во время войны с тевтонским орденом он руководил обороной Ольштыня, разрабатывал проект монетной системы, реконструировал водопровод во Фромборке, лечил больных, судил и т. п. В этих условиях он не прекращал научных занятий и напряженно работал над своим трудом.

В 1530 г. он изложил основные положения своей теории в рукописном сочинении «Малый Комментарий». Сведения о новом учении дошли до папских кругов, и в 1536 г. кардинал Шон-берг обратился к Копернику с письмом, в котором просил прислать подробное изложение теории с таблицами для вычисления положения планет. Однако первым адептом нового учения стал профессор математики Виттенбергско-го университета Георг Иоханн Ретик. Виттенберг был протестантским городом, сам Ретик учился в Цюрихе, где жил и учил реформатор Цвингли, и, таким образом, протестанты сыграли видную роль в распространении нового учения, созданного католиком. В 1539 г. в Гданьске было напечатано подробное изложение системы Коперника, сделанное Ретиком. Ретик настойчиво убеждал Коперника опубликовать его работу и в конце концов получил рукопись для издания. Он решил напечатать ее в Нюрнберге, где была большая типография. Весной 1542 г. он приехал в Нюрнберг, чтобы лично проследить за печатанием. Не дождавшись окончания работы, он поручил нюрнбергскому математику и лютеранскому богослову Осиандеру довести дело до конца. Книга была показана Копернику, когда он был тяжело болен, за несколько дней до его смерти, последовавшей 24 мая 1543 г. Великое творение Коперника начало свою бессмертную жизнь после смерти своего создателя.

Коперник хорошо сознавал революционную силу своей теории, посягнувшей на догмы, утвержденные авторитетом священного писания. Этим объясняются его длительные колебания в вопросе об издании сочинения и его «предохранительное» предисловие, с которым он обратился к папе Павлу III. В этом предисловии он писал о своих колебаниях, ссылаясь на побуждения кардинала Шонберга и кульмского епископа Гизе и на то, что учение о движении Земли высказывалось древними: учеником Аристотеля Рикетом (Никетом у Коперника) Сиракузским, пифагорейцами филолаем и Экфантом и другими (Аристарха Коперник не упоминает).

Осиандер также хорошо понимал революционное значение теории Коперника и снабдил книгу защитительным предисловием, носящим, однако, весьма опасный характер. Осиандер объявил теорию Коперника математической гипотезой, служащей лишь для удобства описания движения планет. Он указывал, что совершенно «нет необходимости, чтобы эти гипотезы были верными или даже вероятными, достаточно только одного, чтобы они давали сходящийся с наблюдениями способ расчета...». Опираясь тем, верным для того

времени, фактором, что «наука совсем не знает простых и глубоких причин видимых неравномерных движений», Осиандер писал, что астроном прибегает к лучшей и легчайшей гипотезе, философ, вероятно, потребует нечто более вероятное, но оба они без божественного откровения не в состоянии что-либо открывать или что-либо нам передавать. Таким образом, Осиандер в своей «защите» пошел настолько далеко, что отнял у науки право на познание истины, предоставив ей право лишь изобретать гипотезы для удобного описания действительности. Истина же доступна только божественному откровению. Этим предисловием открылась длительная борьба между материалистическим и идеалистическим пониманием природы научного познания. (Конечно, борьба материалистического и идеалистического понимания природы познания велась и в древности, и в средние века. Предисловие Осиандера открыло новую страницу в истории этой борьбы, появившись в момент зарождения нового естествознания.)

Сочинение Коперника «О вращениях небесных сфер» содержит шесть книг. На титульном листе напечатано обращение к читателю, в котором автор указывает, что в сочинении рассмотрены движения звезды планет, «представленные на основании как древних, так и современных наблюдений; развитые на новых и удивительных теориях». Таким образом обращение рекомендует книгу как «расписание» движения планет, составленное как на основе наблюдений, так и на новых теориях.

В обращении к папе Павлу III Коперник критикует теорию эпициклов, не согласующуюся достаточно хорошо с наблюдениями и не дающую целой картины мироздания: «...Они (т. е. авторы геоцентрических теорий. – П. К.) не смогли определить форму мира и точную соразмерность его частей. Таким образом, с ними получилось то же самое, как если бы кто-нибудь набрал из различных мест руки, ноги, голову и другие члены, нарисованные хотя и отлично, но не в масштабе одного и того же тела; ввиду полного несоответствия друг с другом из них, конечно, скорее составилось бы чудовище, а не человек». Коперник пишет, что он «стал досадовать, что у философов не существует никакой более надежной теории движений мирового механизма...». Сравнение системы мира с механизмом, употребленное здесь Коперником, очень ярко выражает сущность его основной идеи: построить простую модель солнечной системы, ее кинематический механизм. Такой механизм он нашел, относя движения всех планет, в том числе и Земли, к Солнцу. Этот шаг Коперника имел поистине революционное значение. Делая Землю рядовым членом семейства планет, он порывал с аристотелевской и церковной доктринами о противоположности земного и небесного и с повседневными житейскими представлениями.

Сделав один революционный шаг, Коперник был вынужден сделать и второй. Так как движение Земли не отражается на видимой картине сферы неподвижных звезд, он принял, что эта сфера чрезвычайно велика по сравнению с размерами орбиты Земли. Расстояние Земли от центра мира «...будет несравненно малым, в особенности по отношению к сфере неподвижных звезд», – утверждает Коперник. Сама Вселенная бесконечно велика по сравнению с Землей: «...Небо неизмеримо велико по сравнению с Землей и представляет бесконечно большую величину; по оценке наших чувств Земля по отношению к небу, как точка к телу, а по величине, как конечное к бесконечному». Но Коперник думает и об измеримости этой бесконечности и сравнивает отношение Земли и Вселенной с отношением атома к телу. Атомы неощутимы для чувств, несколько атомов не составляют видимого тела, «а все же, – пишет Коперник, – эти частицы можно так умножить, что, наконец, их будет достаточно для слияния в заметное тело».

Так новое учение о космосе обращает мысль его основателя к материалистической атомистике. Оно неизбежно подводило также к представлению об относительности движения, к физическому релятивизму. «Всякое представляющееся нам изменение места происходит вследствие движения наблюдаемого предмета или наблюдателя или, наконец, вследствие неодинаковости перемещений того и другого, так как не может быть замечено движение тел, одинаково перемещающихся по отношению к одному и тому же (я подразумеваю движение между наблюдателем и наблюдаемым)».

Вот когда в науке появляется эйнштейновский «наблюдатель»!

В другом месте Коперник, возвращаясь к вопросу об относительности Движения, пишет: «Так при движении корабля в тихую погоду все находящееся вне представляется мореплавателям движущимся, как бы отражая движение корабля, а сами наблюдатели, наоборот, считают себя в покое со всем с ними находящимся. Это же, без сомнения, может происходить и при движении Земли, так что мы думаем, будто вокруг нее вращается вся Вселенная».

Таким образом, кинематически движения наблюдателя и наблюдаемого равноценны, любого из них можно считать неподвижным. Так же равноценны движения Земли и Вселенной, и это объясняет вековую иллюзию неподвижности Земли. Но астрономические и философские соображения заставляют Коперника считать неподвижность Земли только иллюзией, а реальностью – ее движение вокруг Солнца. Позднее эти идеи Коперника с особой основательностью разовьет Галилей, сформулировав классический принцип относительности.

Правда истории заставляет нас в этом месте вспомнить предшественника Коперника в учении об относительности движения и бесконечности Вселенной. Этим предшественником был кардинал Николай Кузанский (Николай из Кузы, 1401–1464), итальянский ученый. Сочинения Кузанского были изданы уже после смерти в 1515 г., т. е. при жизни Коперника, и, вероятно, были ему известны. В одном из сочинений мы читаем:

«...Для нас ясно, что Земля находится в движении, хотя нам этого и не кажется, потому что мы замечаем движение по сравнению с чем-нибудь неподвижным. Потому что если бы кто-нибудь сидел в лодке посередине реки, не зная, что вода течет, и не видя берегов, то как бы он узнал, что лодка движется? И таким образом, так как всякий, будет ли он находиться на Земле, или на Солнце, или на другой какой звезде, полагает, что он находится в неподвижном центре, а что все другое движется, то он назначил бы себе различные полюсы – одни, если бы он был на Солнце, другие – на Земле, третьи – на Луне и так далее».

Космическое мышление Николая Кузанского представляет Вселенную бесконечной и все ее точки равноправными точками отсчета. Коперник выбирает из множества этих равноправных точек отсчета одну – Солнце, точнее, центр Солнца и строит модель солнечной системы, представляя планеты движущимися вокруг Солнца по круговым орбитам. Такая конкретная модель могла «работать» и могла быть проверена практическими наблюдениями, философские идеи Николая Кузанского Коперник перевел на язык фактов и чисел. Большая часть его книг содержит таблицы и расчеты, относящиеся к той видимой части Вселенной, которую с древних времен наблюдал и исследовал человек.

Борьба за гелиоцентрическую систему мира. Джордано Бруно. Кеплер

Книга Коперника – и в этом заключается ее огромное стимулирующее значение – поставила перед наукой ряд важных проблем. Перед астрономией она поставила задачу проверить соответствие новой теории фактам. Надо было уточнить наблюдения движения планет и выяснить, соответствуют ли эти наблюдения модели Коперника. В случае расхождения возникала задача выяснения его причин: происходят ли они от неправильности самой теории или от того, что теория, верная в своей основе, должна быть уточнена в деталях.

Решение этой задачи потребовало от астрономов больших усилий при тогдашнем состоянии экспериментальных и математических средств астрономической науки. Астрономы наблюдали светила невооруженным глазом, пользуясь визирами, диоптрами, простыми угломерными инструментами невысокой точности. Для числовой обработки результатов они не располагали не только счетными машинами, но и обычной арифметической техникой, еще не известны были десятичные дроби и логарифмы, которые появились только в начале XVII в. и не сразу вошли во всеобщее употребление. Тогда же были созданы подзорные трубы и телескопы. Для определения долгот астрономы не

располагали точными часами. И астрономическая наука, и навигационная практика нуждались в оптических приборах, в точных часах, в новых вычислительных средствах. Этим и определялись задачи науки на ближайшие десятилетия.

Теория Коперника нуждалась также и в физическом обосновании кинематической схемы. Естественно возникал вопрос: что связывает «машину мира» в единое целое, планеты с Солнцем, Землю с Луной? Каковы физические причины движения вообще и движения планет в частности? Астрономия нуждалась в механике, и не в той механике, которая была известна древним и по существу была статикой, а в новой механике, в механике движения – динамике. Для развития этой новой механики нужна была новая, динамичная математика.

Так из великого открытия Коперника возникла научная программа, осуществление которой привело к возникновению экспериментального и математического естествознания, в первую очередь механики и оптики.

Но помимо этих научных задач, приходилось решать и другую задачу: преодоление установившихся традиций, освященных догматами церкви. Нужны были смелые пропагандисты нового учения, способные распространить его, поколебать окаменелые догмы. Теорию Коперника не признавали ведущие люди эпохи: церковный реформатор Лютер, философ-материалист Френсис Бэкон, крупный астроном Тихо Браге. К тому же к ней с самого начала ее зарождения настороженно присматривалась католическая церковь. Обеспокоенная успехами протестантизма, она усилила борьбу с инакомыслящими, укрепила инквизицию, беспощадно преследующую «еретиков». Большую роль в «контрреформации» сыграл утвержденный в 1540 г. орден иезуитов. Основанный испанским дворянином Игнатием Лойолой, он в короткое время превратился в мощную разветвленную организацию. Иезуитские методы борьбы и влияния на массы стали нарицательными, как символ беспринципной подлости и хитрости. Иезуиты проникали всюду, вели интриги при дворах королей и императоров, стремились взять под свой контроль науку и просвещение. Среди членов ордена были и ученые и педагоги. Иезуиты и сыграли большую роль в борьбе с системой Коперника.

Трудность борьбы за систему Коперника привела к тому, что новое учение вошло в науку не сразу и осуществление научной программы, вытекающей из него, затянулось на десятилетия. Борьба была длительной и кровавой. Навеки вошло в историю имя мученика науки Джордано Бруно. Этот замечательный человек, писатель, поэт, ученый, талантливый оратор и лектор, также был одним из тех титанов, которых рождало это бурное время.

Он родился в 1548 г. в небольшом итальянском городе Нола, вблизи Неаполя, и был при крещении назван Филиппе. Получив первоначальное образование в Неаполе в учебном пансионе своего дяди, он в 16-летнем возрасте постригся в монахи под именем Джордано, под которым и вошел в историю.

Молодой монах ревностно предавался научным и литературным занятиям: изучал греческую науку и философию, труды арабских ученых и философов, сочинения фомы Аквинского и Николая Кузанского. Он написал сатирическую комедию «Светильник», сатирический диалог «Ноев ковчег» (в форме диалога написаны все важнейшие произведения Бруно), которые отнюдь не свидетельствовали о монашеских умонастроениях Бруно.

Двадцати четырех лет Бруно становится священником в Кампанье. Здесь он знакомится с сочинениями гуманистов и книгой Коперника. Его образ мыслей вызывает подозрение членов монашеского ордена доминиканцев, к которому принадлежал Бруно. На него был подан донос в Рим, и Бруно отправился туда, чтобы лично защищаться от выдвинутых обвинений. Однако в Риме он узнал, что после его отъезда в монастыре были найдены новые изобличающие его материалы. Бруно бежит в Геную. Начинается длительный период странствий.

Из Генуи Бруно перебрался в Венецию, затем в Милан, Турин, Шамбери, и, наконец, покинув Италию, он едет в Женеву. Неукротимый дух полемиста заставил его выступить против одного из протестантских философов Женевы, и обиженный философ добился

заклучения Бруно в тюрьму. По освобождении из тюрьмы Бруно покинул Швейцарию, сохранив навеки презрение к «глупой секте педантов», как он называл кальвинистов.

После длительных скитаний он попадает в Тулузу, где становится профессором Тулузского университета и в течение двух лет читает лекции, в которых резко критикует учение Аристотеля. Это вызывает недовольство профессоров университета, и Бруно покидает Тулузу и переезжает в Париж. В Париже Бруно приобрел славу ученого, обладающего огромными познаниями и феноменальной памятью. Сам король заинтересовался Бруно и просил посвятить его в тайны «Великого Искусства». Это «Великое Искусство» представляло собой логическую машину, изобретенную в XIII в. Раймондом Лулла. Машина состояла из нескольких движущихся кругов, на которых были нанесены буквы, обозначающие отдельные логические понятия. Движение кругов с различными скоростями приводило к различным сочетаниям понятий. Бруно увлекся идеей Лулла, которую в последующие годы считали несерьезной. Однако сегодня, в век логических машин, мы рассматриваем машину Лулла как их предшественницу. Бруно написал о луллиевом искусстве ряд сочинений, одно из которых посвятил королю Генриху III. Король в благодарность за посвящение утвердил Бруно экстраординарным профессором Парижского университета.

Но странствия ученого на этом не закончились. Из Парижа он едет в Оксфорд, из Оксфорда в Лондон, из Лондона снова в Париж, из Парижа в Германию. Объехав почти всю Германию и побывав в Цюрихе, Бруно в 1591 г. принял приглашение венецианского дворянина Мочениго и прибыл в Венецию, навстречу своей мученической кончине.

Годы странствий Бруно были годами напряженной, кипучей деятельности. Он читает лекции, пишет книги, участвует в диспутах с выдающимися представителями схоластической науки в Оксфорде, Париже и других университетах. Он развивает величественное учение о множественности миров. Восторженно прославляя Коперника, Бруно считает необходимым пойти дальше в развитии его теории.

В 1584 г. им были написаны диалоги «Пир на пепле», «О бесконечности Вселенной и мирах», в которых он излагал свое учение о бесконечной Вселенной, слагающейся из множества миров, подобных нашей солнечной системе. Бруно давал высокую оценку Копернику, считая, что он стоит «много выше Птолемея, Гип-парха и всех других, шедших по их следам». Бруно писал, что Копернику мы обязаны освобождением от некоторых ложных предположений общей вульгарной философии, если не сказать, от слепоты. Говоря об анонимном «сверхпредисловии» к книге Коперника, он называл его автора «невежественным и самонадеянным ослом», «глупцом», который «старается, чтобы другие не поглупели от учения Коперника, а сам вносит в него, быть может, больше недостатков, чем в нем имеется...».

Д. Бруно



Коперник у Бруно «заря», предвещающая восход солнца «истинной античной философии». Из его диалогов видно, что этой философией является философия Демокрита и Эпикура, которую он развивает дальше, в противовес аристотелевской концепции о конечной Вселенной, о противоположности земного и небесного, о наличии абсолютно неподвижного центра Вселенной. Части и атомы Вселенной «находятся в бесконечном течении и движении, испытывают бесконечные перемены как по форме, так и по месту». Отсутствие покоя, вечное круговращение природы Бруно выражает в стихотворении, начинающемся словами:

*Покоя нет – все движется, вращаясь,
На небе иль под небом обретаясь,
И всякой вещи свойственно движенье,
Близка она от нас иль далека,
И тяжела она или легка.*

Движение познается только по отношению к другим телам: «Так, люди, находящиеся на середине моря на плывущем корабле, если они не знают, что вода течет, и не видят берегов, не заметят движения корабля».

В учении о бесконечности Вселенной, об относительности движения и покоя Бруно солидаризируется с Ку~ занским, имя которого с уважением неоднократно упоминается на страницах его «Диалогов».

Сущность космической теории Бруно в сжатой форме выразил один из персонажей его диалога «О бесконечности Вселенной и мирах»: «Я заключаю следующим: знаменитое общепринятое деление элементов и мировых тел есть сон, пустейшая фантазия, которая не подтверждается ни природою, ни разумом, которая не может и не должна быть. Достаточно знать, что существует бесконечное поле и непрерывное пространство, которое охватывает все и проникает во все. В нем существуют бесчисленные тела, подобные нашему, из которых ни одно не находится в большей степени в центре Вселенной, чем Другие, ибо Вселенная бесконечна, и поэтому она не имеет ни центра, ни края; ими обладают лишь отдельные миры, которые существуют во Вселенной в таком виде, как я уже говорил, в особенности там, где существуют, как я доказал, некоторые определенные центры, каковы суть Солнце и огни, вокруг которых вращаются все планеты, земли, воды, подобно тому как вокруг этого соседнего нам Солнца существуют эти семь планет. Также мы доказали, что каждая из этих звезд или этих миров, вращаясь вокруг собственного центра, кажется своим обитателям прочным и устойчивым миром, вокруг которого вращаются звезды как вокруг центра Вселенной. Так что нет одного только мира, одной только Земли, одного только Солнца, но

существует столько миров, сколько мы видим вокруг нас сверкающих светил, которые в неменьшей степени заключаются в этом небе, в едином всеохватывающем месте, чем этот мир, на котором мы обитаем».

Так на смену узкому и реакционному средневековому представлению о мире пришло новое величественное мировоззрение, перед которым церковное учение о земле и небе выглядело ничтожным и жалким. Нетрудно представить себе бешенство, охватившее «князей церкви» при чтении смелых диалогов Бруно.

Мы оставили Бруно в тот момент, когда он принял приглашение венецианского дворянина Мочениго и вернулся в Италию.

Мочениго пригласил Бруно, соблазнившись одной из его книг о «Великом Искусстве», думая, что Бруно владеет тайной делания золота и другими алхимическими знаниями. Он пригласил его давать ему уроки в алхимическом искусстве, предоставив за это кров и содержание. Понятно, что уроки Бруно разочаровали Мочениго, а его свободные и широкие взгляды испугали тупоумного и злобного венецианца. Бруно быстро понял свою ошибку, решил расстаться с Мочениго и вернуться во Франкфурт. Но Мочениго опередил его. Он написал донос в инквизицию и удерживал Бруно до того рокового дня 23 мая 1592 г., когда Бруно был арестован инквизицией. Более семи лет томился Бруно сначала в венецианской, а затем в римской тюрьме, подвергаясь пыткам и истязаниям. 17 февраля 1600 г. он был сожжен в Риме на площади Цветов (Кампо дель фиоре). Ныне на этом месте стоит памятник Бруно.

В одном из своих стихотворений Бруно писал: «Храбро боролся я, думая, что победа достижима. Но телу было отказано в силе, присущей духу, и злой рок вместе с природою подавили мои стремления. Все же во мне было то, в чем мне не откажут будущие века, и потомки скажут: страх смерти был чужд ему, силою характера он обладал более, чем кто-либо, и ставил выше всех наслаждений в жизни борьбу за истину. Силы мои были направлены на то, чтобы заслужить признание будущего».

И Бруно заслужил благодарное признание потомков.

В год, когда начались странствия Бруно, шестилетний сын швабского солдата начал посещать школу. Ничто не предвещало великой судьбы хилому, болезненному мальчику, по существу брошенному своими родителями. Тем не менее этот мальчик стал великим астрономом, обессмертившим свое имя открытием законов движения планет. Это был Иоганн Кеплер.

Кеплер родился 27 декабря 1571 г. в небольшом местечке вблизи швабского города Вейля. Отец его, Генрих Кеплер, был захудалым, разорившимся дворянином, служившим простым солдатом. Г. Кеплер был женат на дочери деревенского трактирщика. Брак был неудачным, родители часто ссорились, отец бросал семью, и мальчик воспитывался у деда, который и поместил Кеплера в школу, когда ему исполнилось шесть лет. Но к этому времени вернулись родители. Для поправки своих материальных дел они решили открыть трактир и взяли мальчика прислуживать посетителям. Так начался тяжелый жизненный путь будущего великого ученого.

И. Кеплер



В конце концов семья опять распалась, отец ушел в солдаты и не вернулся. Слабый, болезненный мальчик (в четырехлетнем возрасте он перенес оспу) был плохим помощником, и его решено было отдать в монастырскую школу, которую он успешно окончил через два года. Оттуда он был переведен в духовную школу высшего разряда и через три года, как способный ученик, был принят в Тюбингенскую семинарию, по окончании которой 11 августа 1591 г. был оставлен стипендиатом Тюбингенской академии, впоследствии преобразованной в университет. Перед-Кеплером открылась дорога к богословской карьере. Протестантская церковь должна была получить в лице его своего богослова. Но произошло иное. Астрономию и математику в то время в Тюбингене преподавал выдающийся педагог Местлин, хорошо знавший преподаваемые им науки, один из немногих в то время приверженцев учения Коперника. Он разбудил в Кеплере интерес к астрономии, познакомил его с книгой Коперника, и Кеплер сделался горячим сторонником нового учения. С тех пор богословская карьера Кеплера кончилась. По окончании академии в 1593 г. Кеплер получил блестящий аттестат, удостоверявший его выдающиеся способности и знания, но к богословскому служению был признан непригодным и был назначен преподавателем математики и философии в училище в Граце.

В Граце Кеплеру пришлось заниматься не только преподаванием, но и составлением календарей, гороскопов и научной работой. На астрологию, которой ему приходилось заниматься, он смотрел как на источник средств существования. По его высказыванию, «астрология – дочь астрономии, хотя и незаконная, и должна кормить свою мать, которая иначе умерла бы с голоду» Астроном Кеплер должен был заниматься астрологией, помещать в свои календари астрономические и метеорологические предсказания, иначе он умер бы с голоду. Кеплер к тому времени женился, и его материальное положение было далеко не блестящим.

Уже в эти годы Кеплера занимала идея числовых соотношений между орбитами планет. Число известных в то время планет, включая Землю, равнялось шести, и задача отыскать простые числовые отношения между их расстояниями от Солнца казалась вполне разрешимой. Кеплер, разделяя убеждение пифагорейцев, что число «есть принадлежность всех вещей», пытался найти «числовую гармонию» планетных сфер. Пробуя различные комбинации, Кеплер пришел к геометрической схеме, согласно которой расстояние планет от Солнца находят следующим геометрическим построением: вокруг ближайшей к Солнцу сферы Меркурия описывают правильный восьмигранник, вокруг него – вторую сферу – сферу Венеры. Около этой сферы описывают двадцатигранник, вокруг которого описывают третью сферу – сферу Земли. Около сферы Земли описывают двенадцатигранник, вокруг него

– четвертую сферу–сферу Марса; далее описывают тетраэдр, и вокруг него – сферу Юпитера; около сферы Юпитера описывают шестигранник, и вокруг него – сферу Сатурна.

«Работая над этим, – писал Кеплер, – я твердо заучил расстояния и времена обращения планет...» Это пригодилось ему в будущем. Кеплер на всю жизнь сохранил теплое чувство к своему первому детищу, изданному в 1596 г. под интригующим названием

«Космографическая тайна». Он послал эту книгу знаменитому датскому астроному Тихо Браге (1546–1601) и итальянскому астроному Галилею. Тихо Браге – искусный и ревностный наблюдатель, к тому же не принявший системы Коперника, холодно отнесся к основной идее Кеплера, которая действительно не выдержала проверки временем, но оценил в Кеплере способного вычислителя и пригласил его к себе в сотрудники. В Галилее же Кеплер приобрел соратника по борьбе за новое мировоззрение, и во взаимной переписке оба великих ученых черпали силы для этой нелегкой борьбы.

Между тем положение Кеплера осложнилось политическими событиями. В Штирии, где находился Грац, усилилась католическая реакция, и протестанту Кеплеру пришлось бежать в Венгрию. На сделанное ему предложение переменить веру он ответил отказом. Через год правительство все же разрешило ему вернуться в Грац при условии вести себя осторожнее. Кеплер вернулся, но увидел, что жизнь в Граце становится невозможной. Тихо Браге, переехавший к тому времени в Прагу, уговорил Кеплера приехать к нему. Кеплер принял это предложение и поехал в Прагу. Тихо Браге был выдающимся астрономом, посвятившим астрономии все свои силы и все свое состояние. В Дании в его распоряжении был остров, на котором он создал целый астрономический городок, названный им Ураниенбургом. Не поладив с приближенными молодого датского короля, Тихо расстался с Ураниенбургом и уехал в Прагу, куда и приехал к нему Кеплер. Долго поработать с Браге Кеплеру не пришлось, так как вскоре Тихо умер. Журналы его тридцатипятилетних наблюдений попали в руки Кеплера, и он начал, не прекращая составления гороскопов, обработку этого гигантского материала.

Прежде всего Кеплер решил внести в результаты Тихо поправки на рефракцию. Это заставило его изучать оптику, но он не ограничился простым изучением трактата Вителло, а разработал самостоятельно целый ряд вопросов, написав сочинение «Дополнения к Вителло». Здесь он дает теорию камер-обскуры, излагает свою теорию зрения, в которой исправляет ошибку Алхазена, показывая, что изображение получается на сетчатке, а хрусталик действует как линза. Кеплер правильно объяснил близорукость и дальновидность, а также способность глаза видеть далекие и близкие предметы изменением кривизны хрусталика. Из составленных им таблиц рефракции он определяет плотность воздуха относительно плотности воды. «Созерцание природы научило меня, – писал Кеплер, – что наша атмосфера состоит из вещества тяжелого». Вполне естественно, что еще до открытия давления атмосферы Кеплер полагал, что рефракция зависит от состояния атмосферы.

Эти замечательные результаты были получены Кеплером в самый разгар работы над определением орбиты Марса. Вначале он, как и Коперник, считал орбиту круговой. «Эта ошибка, – писал Кеплер, – была тем более вредной, что она опиралась на единодушное мнение всех философов...»

Потом Кеплер понял, что орбита имеет форму овала, и в конце концов в результате длительных вычислений он находит истинную форму орбиты: эллипс, в фокусе которого расположено Солнце. При этом планета движется по эллипсу неравномерно, быстрее, когда она ближе к Солнцу, и медленнее, когда дальше от него, в соответствии с законом площадей.

Все свои расчеты, критику теорий Птолемея и Тихо, все ошибки и неудачи, свои переживания Кеплер изложил в книге «Новая астрономия, или Небесная физика с комментариями на движение планеты Марс по наблюдениям Тихо Браге», вышедшей в Праге в 1609 г.

Великое открытие Кеплера не принесло ему благополучия. Его продолжали преследовать нужда и несчастья. В 1610 г. умерли его жена и сын, и он остался с двумя детьми на руках. В этом же году он узнал об открытии Галилеем четырех спутников

Юпитера и изобретении зрительной трубы. Кеплер размышляет в связи с этим о возможности открытия спутников и у других планет. По его мнению, у Марса должно быть два спутника и шесть или восемь у Сатурна. Эти предположения Кеплера оправдались впоследствии.

Мысль Кеплера опять обратилась к оптике, и в 1611 г. вышло его новое сочинение по оптике – «Диоптрика». Здесь он описывает конструкцию телескопа (труба Кеплера), рассматривает ход лучей в линзах и системах линз, приходит к выводу о существовании полного внутреннего отражения при переходе света из среды, оптически более плотной, в среду, оптически менее плотную, находит фокусные расстояния стеклянных плоско-выпуклой и двояко-выпуклой линз.

Нужда заставила Кеплера уехать из Праги. Жалованье ему не платили, и в поисках выхода из тяжелого положения он уехал в Линц, где занял место преподавателя математики.

Однако нужда и несчастья продолжали преследовать Кеплера. В 1618 г. началась тридцатилетняя война, императорская казна была пуста, и Кеплеру нечем было платить жалованье. В довершение всего ему пришлось ехать на родину выручать свою мать, обвиненную в колдовстве и приговоренную к сожжению на костре. С большим трудом Кеплеру удалось спасти мать, но по возвращении в Линц его встретили грубыми оскорблениями, обзывая сыном колдуньи и внуком ведьмы.

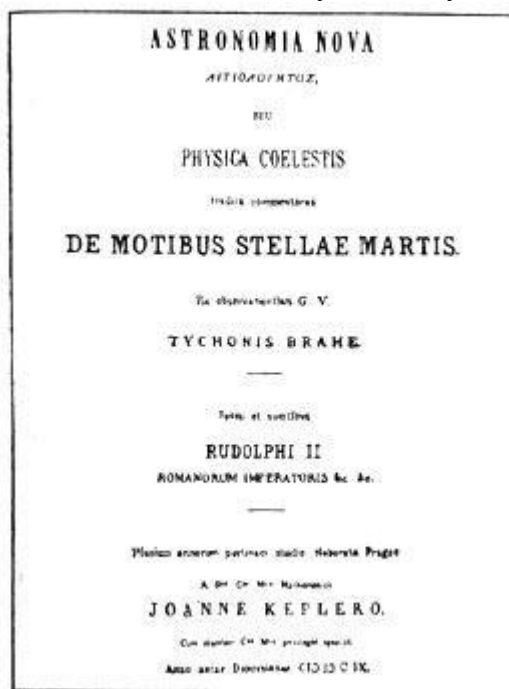


Рис. 3. титульный лист 'Новой астрономии' Кеплера.

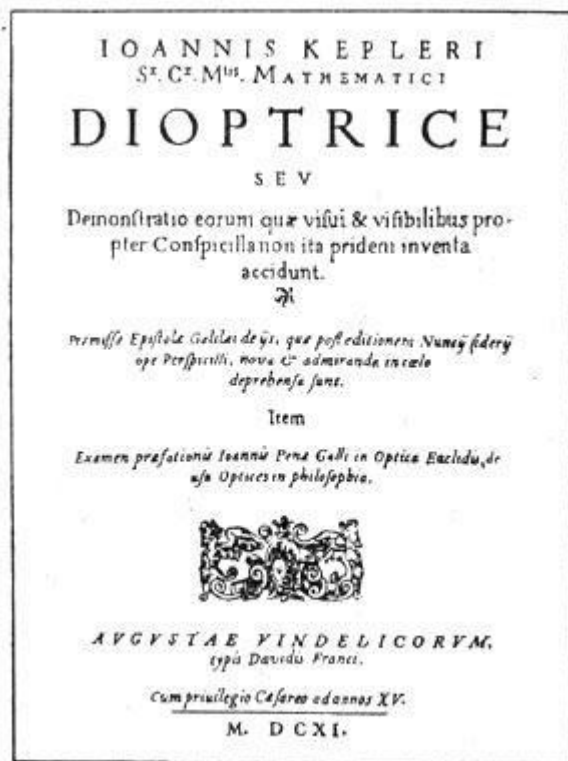


Рис. 4. Титульный лист 'Диоптрики' Кеплера.

И все же в этих труднейших условиях мужественный ученый продолжал свое великое дело. В 1619 г. вышло сочинение «Гармония Мира», в котором содержался третий закон движения планет. Задача, поставленная им в начале научного пути, была успешно решена.

Трудны были последние годы жизни ученого. Оставив место в Линце, он жил случайными заработками, а в 1628 г. поступил на службу к известному полководцу Валленштейну. Гороскопы Кеплера "не удовлетворяли честолюбивого и грубого полководца, и Кеплер вернулся в Линц. В хлопотах о получении не выплаченного ему жалованья во время одной из поездок в Регенсбург он простудился, заболел и умер 15 ноября 1630 г.

Бессмертным памятником его трудной жизни остались открытые им законы.

Галилей

Следующий решающий шаг в борьбе за систему Коперника и новое мировоззрение был сделан Галилеем Бруно рассматривал и развивал учение Коперника с философских позиций, Кеплер привел систему Коперника в соответствие с последними данными астрономии, Галилей же обосновал систему Коперника физически, и его борьба за нее слилась с выработкой основ новой физики, пришедшей на смену аристотелевской. Существенно, что непригодность аристотелевской физики была осознана еще до Коперника. Великий художник эпохи Возрождения Леонардо да Винчи уже ясно понимал, что наука должна строиться на опыте и на математическом расчете, и сам проводил эксперименты, приходя к результатам, предвещающим последующие выводы Галилея. Леонардо да Винчи пошел также против учения о противоположности земного и небесного. Земля – такое же небесное тело, как и Луна, и держится свободно в пространстве, окруженная своими элементами, как и Луна. Но Леонардо не публиковал своих размышлений, они остались в его записных книжках, записанные к тому же в зеркальном изображении. Поэтому современники и потомки не могли воспользоваться его результатами.

Галилео Галилей родился 15 февраля 1564 г. в семье небогатого пизанского

дворянина. Пиза и Флоренция – города Тосканы, находившиеся в то время под властью богатой фамилии Медичи. Галилей учился в Пизанском университете. Сначала он изучал медицину, однако впоследствии оставил медицинский факультет и стал изучать математику и философию. Одаренный юноша обратил на себя внимание. Уже в двадцатидвухлетнем возрасте он издает небольшое сочинение о сконструированных им гидростатических весах. В 1589 г. его назначают профессором Пизанского университета, где он читает лекции по математике и философии. Хотя в эти годы он открыто не выступает против перипатетиков, представители схоластики относятся к нему недоброжелательно. Это обстоятельство, равно как и недостаточность получаемого им содержания, вынуждает Галилея принять предложение правительства Венецианской республики занять место профессора университета в Падуе.

Г. Галилей



В Падуе Галилей провел 18 лет, с 1592 по 1610 г., сделав здесь ряд важнейших открытий, принесших ему мировую славу. Именно здесь он начал борьбу за систему Коперника, в справедливость которой уверовал, вероятно, еще в Пизе, но защиту которой считал очень трудным делом. В 1597 г. он писал:

«К мнению Коперника я пришел много лет назад и, исходя из него, нашел причины многих явлений природы, далеко не объяснимых с помощью обычных гипотез. Написал многие соображения и опровержения противных аргументов, которые, впрочем, опубликовать не решился, устрешенный судьбой учителя нашего Коперника. У немногих стяжал он бессмертную славу и бесчисленным множеством – ибо таково число глупцов – осмеян и освистан».

Понимая трудность борьбы, Галилей накапливал материал для предстоящей схватки. Он размышлял над вопросами механики и астрономии, обсуждал научные проблемы со своими друзьями, дожидаясь подходящего момента для начала открытой борьбы. Такой момент представился к концу пребывания Галилея в Падуе.

В 1608 г. в Голландии была изобретена зрительная труба. Когда весть об этом дошла до Галилея, он немедленно начал размышлять над возможной конструкцией трубы и в течение года создал трубу, представляющую комбинацию выпуклой и вогнутой линз. Венецианский сенат высоко оценил изобретение Галилея, его земная польза была очевидной.

Но Галилей был первым ученым, использовавшим трубу в научных целях.

Усовершенствовав трубу, он направил ее на небо и сразу обнаружил несоответствие наблюдаемой картины схеме Аристотеля. Поверхность луны была неровной. Млечный Путь оказался состоящим из множества до того неизвестных звезд. В начале января 1610 г.

Галилей открывает спутники Юпитера – наглядную модель системы Коперника,

демонстрирующую, как планета со своими лунами движется вокруг Солнца. Волнующий рассказ о своих открытиях Галилей назвал «Звездный вестник». Он посвятил его, по тогдашнему обычаю, великому герцогу Тосканскому Козимо II Медичи, подготавливая тем самым путь для возвращения в Тоскану. Галилей считал, что Флоренция, где он будет находиться под покровительством великого герцога, будет более подходящим местом для работы и борьбы, чем Венеция, выдавшая инквизиции Бруно, и он принял приглашение герцога переехать во Флоренцию.

С 1610 г. начинается новый, напряженный и драматический период в жизни Галилея.

Борьба, как он и предполагал, оказалась тяжелой. Сторонники старого не только не сдавались перед лицом новых фактов, но и перешли в открытое наступление. Учения Коперника и Галилея громили в церковных проповедях, объявили несовместимыми со священным писанием. Галилей в письме от 14 декабря 1613 г. своему ученику Каstellи резко возражал против привлечения священного писания к научным спорам. Он писал: «...Разумно, полагаю, было бы, если бы никто не позволял себе прибегать к местам писания и некоторым образом насиловать их с целью подтвердить то или иное научное заключение, которое позже вследствие наблюдения и бесспорных аргументов придется, быть может, изменить в противоположное. И кто возьмет на себя поставить предел человеческому духу?

Кто решится утверждать, что мы знаем все, что может быть познано в мире?».

Это изумительное высказывание Галилея отражает главный дух науки, несовместимый с любой догмой: неустанный поиск, неустанное движение познания. Вполне понятно, что письмо Галилея Каstellи произвело огромное впечатление. Его переписывали и изучали сторонники нового, его изучали и враги. С 1615 г. оно с подчеркнутыми криминальными, по мнению церковников, местами и с доносом на Галилея было направлено в Рим, в инквизицию. Теперь высшему церковному судилищу надлежало высказать свое отношение к системе мира, которая по иронии судьбы была открыта католическим священником. Надо было четко ответить на основной вопрос: совместима ли система мира Коперника с учением церкви или является ересью?

В конце 1615 г. Галилей, услышав, что в Риме «хотят прийти к некоторому решению» относительно системы Коперника, едет в Рим, чтобы защитить новое учение и, как он хорошо понимал, самого себя от обвинения в ереси. По сохранившимся свидетельствам современников, Галилей защищался с блеском. Так, в одном из писем того времени мы читаем: «Вы испытали бы большое удовольствие, если бы слышали Галилея рассуждающим в кружке 15–20 человек, заседающих на него то в одном, то в другом доме. Он так уверен в своем деле, что всех их высмеивает. И если он не убедит в справедливости своего мнения, то, во всяком случае, докажет ничтожность аргументов, какими противники хотят повергнуть его на землю».



Рис. 5. Титульный лист 'Заветного вестника' Галилея

Но блестящие аргументы производили на церковников противоположное действие, они все больше убеждались в опасности для церковного мировоззрения системы Коперника. 5 марта 1616 г. декретом учрежденной при инквизиции конгрегации книга Коперника была запрещена, а учение о движении Земли было признано противным священному писанию. 6 марта 1616 г. посланник герцога Тосканского доносил герцогу:

«Вчера была созвана конгрегация, чтобы объявить мнение Коперника ложным и еретичным. Коперник и другие авторы, о том писавшие, будут или подвергнуты исправлению или запрещены. Лично Галилей, полагаю, не пострадает, если будет достаточно благоразумен, чтобы хотеть и мыслить гак, как святая церковь хочет и мыслит. Но он слишком горячится, безмерно страстен и слишком мало имеет благоразумия, чтобы побороть себя».

Постановление конгрегации, понятно, не убедило Галилея, и он оставался приверженцем системы Коперника, хотя, конечно, уже не мог ее проповедовать открыто. Но, поскольку формально Галилею не запрещалось критиковать Птолемея и Аристотеля, он продолжал разрушительную критику схоластической науки, одновременно закладывая основы новой науки.

Еще будучи в Пизе, Галилей путем эксперимента опроверг учение перипатетической физики о пропорциональности скорости падения тела силе тяжести. Сброшенные со знаменитой наклонной башни шары, чугунный и деревянный, одинакового размера упали почти одновременно, и Галилей с полным основанием приписал различие в скорости сопротивлению воздуха.

Опыт Галилея имел огромное методологическое значение. Эксперименты с падением тел проводил и Леонардо да Винчи. Но только Галилей ясно указал, что для получения научных выводов из опыта необходимо устранить побочные обстоятельства, мешающие получить ответ на заданный природе вопрос. Надо уметь видеть в опыте главное и отвлекаться от несущественных для данного явления фактов. Поэтому Галилей, в отличие от Леонардо, брал тела одинаковой формы и одинакового размера, чтобы сосредоточить внимание на главном – зависимости скорости падения от силы тяжести, и добился успеха. Он отвлекся от бесчисленного множества других обстоятельств: состояния погоды, состояния самого

экспериментатора, температуры, химического состава бросаемых тел и т. д. Чтобы эксперимент имел научное значение, он должен быть поставлен так, как первый опыт Галилея. Таким образом, простой опыт Галилея по существу явился подлинным началом экспериментальной науки. Галилей повторял и варьировал его неоднократно. Он изучал падение тел в лабораторных условиях, на наклонной плоскости, на маятнике, искал точное количественное соотношение между скоростью и временем падения, пройденным путем и временем падения и т. д. Результаты этих опытов и их теоретический анализ послужили основой механики, обессмертив имя Галилея как зачинателя нового естествознания. Работы Галилея по механике, астрономии, сопротивлению материалов, акустике, оптике связаны в единое целое, подчинены общей цели—утверждению новой науки и нового мировоззрения.



Рис. 6. Титульный лист 'Диалога'

Спустя 14 лет после запрещения учения Коперника Галилей закончил рукопись своего главного сочинения «Диалог о двух системах мира – Птолемеевой и Коперниковой» и повез ее в Рим, чтобы получить разрешение на публикацию. В Риме в это время папский престол занял Урбан VIII, который в бытность свою кардиналом хорошо относился к Галилею и даже посвятил ему латинские стихи. Галилей рассчитывал на «смягчение климата».

Действительно, главный цензор не возражал против печатания книги, но предложил снабдить ее предисловием, в котором отмечалось бы, что теория Коперника является только гипотезой (такое предисловие к книге Коперника было, как мы знаем, написано Осияндером). Галилей написал такое предисловие. В нем он указал и на «спасительный декрет», осуждавший систему Коперника, и на то, что в книге учение Коперника обсуждается как гипотеза. При этом Галилей подчеркнул, что гипотеза Коперника стоит выше, «если и не системы неподвижности Земли, то по крайней мере тех возражений, какие делаются церковными перипатетиками».

В 1632 г. сочинение Галилея вышло из печати во Флоренции. Остро полемичная книга написана в форме диалога, который ведут венецианцы Сагрето и Симпличио и флорентиец Сальвиати.

Сальвиати и Сагрето – имена двух друзей Галилея. Это персонажи диалога, из которых первый выражает взгляды самого Галилея, а второй им сочувствует. Симпличио (по-итальянски означает «простак») защищает взгляды перипатетиков, непрерывно

апеллируя к авторитету Аристотеля и Птолемея. Враги Галилея распустили слух, что под маской Симпличио выведен сам папа. Это, понятно, не способствовало радушному отношению к книге со стороны последнего. Но независимо от этого содержание книги не оставляло ни малейшего сомнения, на чьей стороне автор, а блестящая аргументация произвела огромное впечатление не только в Италии, но и за границей. Книга вызвала шум, сделалась подлинной сенсацией. Система Коперника в этой книге получила всестороннее – физическое, астрономическое и философское – обоснование, а концепции схоластиков был нанесен сокрушительный удар, от которого они уже не могли оправиться.

В течение первого дня дискуссия касается общих философских вопросов, рассматривается учение перипатетиков о противоположности земного и небесного, о достоверности познания и его источнике, о трехмерности мира и т. д. Беседа этого дня заканчивается гимном человеческому разуму и прославлением письменности.

Беседа второго дня занимает центральное место в книге. В ней разбираются аргументы против учения о движении Земли, которое якобы должно отразиться на наблюдаемых нами явлениях, например: брошенный с башни камень должен упасть не к подножию башни, а в сторону, противоположную движению Земли, облака и птицы должны отставать от движущейся Земли и т. д. Для опровержения этих аргументов и потребовалась новая механика.

Механика Аристотеля различала три вида движений: естественные, насильственные и круговые. Естественным было движение к центру мира, к центру Земли. Круговые движения были присущи небесным телам и, являясь идеальной формой движения, соответствовали идеальному, вечному миру. Все прочие движения, в том числе и равномерное прямолинейное, были насильственными и требовали силы. Как только сила переставала действовать, движение прекращалось.

Опыт перемещения тел с небольшими скоростями, казалось, подтверждал эту механику. Так, книга, лежащая на столе, не сдвинется с места, если ее не подтолкнуть пальцем, по прекращении действия пальца движение книги прекращается. Казалось, что полет стрелы не соответствует аристотелевской механике, но и здесь был найден выход.

Стрела со свистом разрезает воздух, освобождая перед собой пространство, в которое устремляются образовавшиеся сзади стрелы массы воздуха, своим давлением продолжающие насильственно гнать стрелу. Когда давление прекращается, стрела падает.

Таким объяснением удовлетворялись в течение многих веков, пока не появилось огнестрельное оружие. Изучение полета пуль и снарядов показывало, что ответ Аристотеля неудовлетворителен и дело обстоит гораздо сложнее. Так, известный математик XVI столетия Николо Тарталья (1500 – 1557) установил, что траектория полета снаряда не имеет изломов, как это должно быть по теории перипатетиков, а является целиком криволинейной.

Он нашел также, что наибольшая дальность полета будет при стрельбе под углом 45° к горизонту. Правда, Тарталья еще не мог отрешиться от перипатетических представлений и считал, что установленные им факты объясняются смещением естественного и насильственного движений. Это, вообще говоря, правильно, поскольку полет снаряда обусловлен инерционным движением («естественным», по современным представлениям) и движением по вертикали («насильственным», по современным представлениям, и «естественным», по Аристотелю).

Наибольшая дальность полета, если не принимать в расчет сопротивление воздуха, достигается, действительно, при угле возвышения в 45° .

Другой итальянец – Бенедетти (1530–1590) – пошел дальше, введя представление об «импето» («впечатлении»), сохраняющемся в теле, которому сообщена скорость. Тело продолжает движение с сообщенной ему скоростью. Поэтому камень, выпущенный пращой, продолжает движение по прямой линии.

Таким образом, практика уже подводила ученых к представлению об инерции, и Галилей в «Диалоге» делает новый шаг в выработке этой важнейшей идеи механики. Разбирая движение тела по наклонной плоскости в духе Галилеевского метода, отвлекаясь от

трения (плоскость и шар абсолютно твёрдые и гладкие), Сальвиати подводит своих собеседников к выводу, что шар, скатывающийся по плоскости ускоренно, будет подниматься по плоскости замедленно, если ему сообщить начальной скоростью. «Теперь скажите, – продолжает обсуждение Сальвиати, – что будет с тем же телом на плоскости, которая ни вниз не опускается, ни вверх не поднимается?» Из ответов собеседников выясняется, что тело будет равномерно двигаться столько времени, «сколько хватит» такой плоскости. «Если, – подытоживает Сальвиати, – длина ее будет бесконечна, то и движение будет продолжаться вечно».

Современный учитель физики так же подводит учащихся к понятию инерции, заставляя двигаться шар по гладкой горизонтальной поверхности, не задумываясь над тем, что шар находится в поле тяготения и взаимодействует со столом, а «не предоставлен самому себе», как этого требует закон инерции, физику мы учим в тех же естественных условиях, в каких ее создавал Галилей.

Галилей не нашел полной и точной формулировки закона инерции, он не смог оторваться от своей плоскости, не имеющей «ни спуска, ни подъема», и, отождествив эту плоскость с поверхностью шара, считал, что движение по такой идеальной сферической поверхности может продолжаться вечно. Однако важно другое, что в путанице земных движений Галилей выявил свойство тел сохранять свою скорость. Ядро, выпущенное из пушки, продолжает лететь с сообщенной ему скоростью, одновременно падая с ускорением на Землю.

Галилей совершенно правильно применил закон инерции в конкретных примерах и, что особенно важно, привлек этот закон к обоснованию системы Коперника. Шар, сброшенный с башни, продолжает двигаться вместе с башней и поэтому упадет к ее подножию. Птицы и облака продолжают двигаться вместе с Землей, как и атмосфера. Поэтому мы и не замечаем движения Земли, и все явления происходят на ней так, как если бы она была неподвижна. Галилей весьма наглядно формулирует это картиной явлений в трюме корабля. Все движения в этом помещении: падение капель из ведра, подвешенного к потолку, в сосуд с узким горлышком, поставленный на полу, полет мух и бабочек, находящихся в трюме, плавание рыбок в аквариуме, бросание мяча наблюдателем своему приятелю – тщательно фиксируется наблюдателем «Наблюдайте хорошенько за всем этим, – говорит Сальвиати, – и заставьте привести в движение корабль с какой угодно быстротой. Если движение будет равномерно, то вы не заметите ни малейшей перемены во всех указанных действиях и ни по одному из них не в состоянии будете судить, движется ли корабль или стоит на месте».

В этом высказывании Сальвиати содержится важнейший физический принцип – принцип относительности Галилея: никаким механическим опытом нельзя установить, покоится система или движется равномерно и прямолинейно, движения в обеих системах протекают совершенно одинаково.

Эйнштейн, развивший спустя 300 лет после Галилея теорию относительности, назвал систему отсчета, центр которой находится в центре солнечной системы, а оси направлены к неподвижным звездам, галилеевой. Эйнштейн утверждал, что все системы отсчета, движущиеся равномерно и прямолинейно относительно галилеевой, равноправны, а постоянная скорость системы отсчета не оказывает никакого влияния на ход механических процессов.

Установление принципа относительности сняло главные возражения противников Коперника.

В беседе третьего дня приводятся астрономические открытия, говорящие в пользу Коперника и против Аристотеля: вид Луны в телескоп, солнечные пятна, фазы Венеры, спутники Юпитера. Все это в разное время было открыто самим Галилеем. Эти факты свидетельствуют в пользу теории Коперника, и Сагредо в «Диалоге» совершенно правильно восклицает: «О Николай Коперник. Как обрадовался бы ты, видя, как подтверждена этими фактами твоя истина!»

Однако Галилею эти доказательства еще казались недостаточными, и он в беседе четвертого дня излагал свою теорию приливов и отливов. Эта теория основана на проявлении инерции. Галилей в пояснение ее приводит пример с баржей, везущей воду: при торможении баржи вода устремляется к носу, при ускорении – отступает к корме.

Явление описано Галилеем совершенно правильно и свидетельствует о его наблюдательности. Правильна также мысль, что суточное вращение Земли должно найти свое отражение в явлениях на земной поверхности (эти явления были впоследствии открыты). Но сама теория приливов и отливов в том виде, в каком ее дал Галилей, неверна. Он считал причиной приливов и отливов изменение скорости воды, которая составляется из скорости вращения Земли и скорости ее орбитального движения. Несмотря на неправильность своей теории, которая противоречит установленному им принципу относительности, Галилей считал ее важнейшим аргументом в защиту системы Коперника.

Богатое содержание «Диалога» далеко не исчерпывается изложенными здесь примерами. Эта живая полнокровная книга хорошо отражает дух самого Галилея. С какой язвительностью он говорит о своих противниках и их аргументах, «которые я стыжусь повторять..., чтобы не налагать пятна на род человеческий». С гневом и страстью он бичует слепое преклонение перед Аристотелем! Он говорит, что Аристотеля надо изучать (кстати сказать, в «Диалоге» очень сильны следы аристотелевской физики), но вместе с тем не одобряет, когда каждое слово Аристотеля принимают на веру. Это злоупотребление ведет за собой вредное последствие: «не заботятся убедиться в силе доказательств». «Разве недостойно осмеяния, – продолжает Сальвиати, – когда на диспуте о каком-нибудь предмете, подлежащем доказательству, вдруг кто-нибудь приведет цитату, часто относящуюся совсем к другому предмету, и ею затыкают рот противнику. Если вы хотите так продолжать в деле науки, то не называйтесь философами, зовитесь историками, докторами зубрения. Кто никогда не философствует, не имеет право на почетный титул философа».

Совершенно очевидно, что «доктора зубрения» не остались в долгу и начали травлю Галилея. Вскоре после выхода книги Галилей пишет: «Из верного источника слышу, что отцы-иезуиты наговорили решающей особе, что моя книга ужаснее и для церкви пагубнее писания Лютера и Кальвина». Против Галилея по приказанию папы возбуждается дело, и Галилея вызывают в Рим. Больной старик просит отсрочки, инквизиция повторяет вызов с угрозой, что в случае нового отказа Галилей будет доставлен в цепях под конвоем. В феврале 1633 г. Галилея на носилках доставляют в Рим. Процесс Галилея продолжается с 12 апреля 1633 г, когда его подвергли первому допросу, до 21 июня 1633 г., когда был вынесен приговор. На следующий день 22 июня состоялось отречение Галилея по тексту, заготовленному инквизицией.

Не все еще до конца ясно в процессе Галилея. Неизвестно точно, подвергался ли Галилей пыткам, хотя в тексте приговора недвусмысленно сказано, что Галилей подвергался «строгому испытанию», на котором «отвечал католически».

Прошло 350 лет со дня осуждения Галилея, а документы процесса полностью не опубликованы. Но из опубликованных документов видно, что Галилей стойко держался принятой им линии защиты: он не нарушал письменного распоряжения Беллармина и систему Коперника обсуждал в «Диалоге» как одну из научных гипотез. Поэтому инквизиция вынуждена была признать Галилея не еретиком (что автоматически вело за собой сожжение на костре), а лишь «сильно заподозренным в ереси». (*Только в 1981 г., т. е. через 339 лет после смерти великого ученого, католическая церковь вынуждена была реабилитировать его.*)

Нередко приходится слышать и читать осуждение отречения Галилея и обвинение его в трусости, в измене долгу ученого. Но любители мученических жертв забывают, что Галилей своим хотя и унижительным, но формальным отречением спас для науки, для человечества свое великое произведение «Беседы о двух новых науках». Чтобы оценить значение этого произведения, достаточно сказать, что оно открыло дорогу «Началам» Ньютона и заложило основы науки о сопротивлении материалов. Что же касается научных

убеждений Галилея, то они остались неизменными. Об этом свидетельствует и посвящение к «Беседам», и сами «Беседы», и сохранившиеся записи Галилея. Известная легенда о словах Галилея: «А все-таки она вертится!» – неверная фактически, верна по существу. (*Подробнее о процессе и отречении Галилея смотрите в кн.: Кудрявцев П. С. История физики. – М.: Учпедгиз, 1956. – Т. 1.*)

После отречения Галилей жил вблизи Флоренции в Арчетри под надзором инквизиции. Силы его ослабли, он ослеп. Тем не менее он продолжал работать. В 1638 г., т. е. через пять лет после процесса, вышло его главное произведение—«Беседы о двух новых науках».

Семена, посеянные великим ученым, начали давать всходы еще при его жизни. Ученики Галилея Тор-ричелли и Вивiani, которым принадлежит честь открытия атмосферного давления, стояли у гроба Галилея, скончавшегося 8 января 1642 г., как бы символизируя несокрушимую силу науки.

Глава четвёртая. Возникновение экспериментального и математического методов

Новая методология и новая организация науки. Бэкон и Декарт

К началу XVII столетия была подготовлена почва для быстрого развития физики. Эта подготовка заключалась прежде всего в осознании того факта, что преподающаяся в университетах физика не в состоянии была дать объяснение новым явлениям, обнаруженным в результате технических и географических открытий. Обращение к наследию античной науки позволило исправить ряд заблуждений и восстановить в правах утраченные достижения, но этого было далеко не достаточно для дальнейшего движения вперед. Самый метод опоры на авторитеты, какими бы высокими они ни казались, был несостоятельным. Нельзя было пойти дальше, не сломив слепое преклонение перед Аристотелем, царившее в университетах. Коперник, Бруно, Галилей вынуждены были каждый по-своему вступить в борьбу с аристотелевской традицией.

Это дело продолжали их современники и преемники.

Одним из современников Галилея, который особенно ясно осознал про творчество старой науки новым открытиям и необходимость опоры на новую методологию, был английский государственный деятель и философ Френсис Бэкон (1561–1626). Государственные дела, которые к тому же приходилось вершить в обстановке назревающей революции, не помешали Бэкону размышлять о научном прогрессе. Он задумал создать обширное сочинение под названием «Великое восстановление», из которого, однако, успел написать только одну часть под названием «Новый органон», вышедшую в 1620 г. В этом сочинении Бэкон указывает на неприглядное состояние «обычных», т. е. университетских, наук, на их бесплодие, в то время как в механических искусствах, т. е. технике, наблюдается интенсивное, непрерывное развитие: «Они, как будто восприняв какое-то удивительное дуновение, с каждым днем возрастают и совершенствуются». Это совершенствование беспредельно: «Скорее прекратятся и изменятся желания людей, чем эти искусства дойдут до предела своего совершенствования» Нам теперь видно, как глубоко прав был Бэкон, говоря так. Технический прогресс его времени не шел ни в какое сравнение с современным прогрессом техники, и все же Бэкон сумел увидеть в нем тенденцию непрерывного и беспредельного совершенствования техники.

Ф. Бэкон



Установив и резко подчеркнув несоответствие практики и теории, Бэкон указывает, что обращение к наследию древних не может устранить это несоответствие. «Было бы постыдно для людей, – говорит Бэкон, – если бы границы умственного мира оставались в тесных пределах того, что было открыто древними, тогда как в наши времена неизмеримо расширились и приведены в известность пределы материального мира, т. е. земель, морей, звезд».

Бэкон вскрывает причины плачевного состояния наук, важнейшими из которых, по его мнению, являются неправильная цель и неправильный метод науки, противодействие научному прогрессу, оказываемое богословием и схоластикой: «По теперешнему положению дел условия для разговора о природе стали более жесткими и опасными по причине учения и метода схоластов», – писал Бэкон, добавив, что строптивая и колючая философия Аристотеля смешалась более чем следовало с религией. Бэкон полагал, что цель науки заключается в наделении человеческой жизни «новыми открытиями и благами», а не в бесполезных умствованиях схоластов. Схоластика и схоластическое преподавание препятствуют научному прогрессу: «В науках же и искусствах, как в рудниках, все должно шуметь новыми работами и дальнейшим продвижением вперед».

Что же нужно сделать для этого? Для этого, по мнению Бэкона, надо помочь науке правильным методом и правильной организацией. Человеческий ум, по Бэкону, осаждают «Призраки» свойственные человеческому разуму и являющиеся источником заблуждения: ум склонен легко обобщать единичные факты и приходить к выводам, не соответствующим действительности, он нелегко расстается со сложившимися убеждениями, ему присуща некоторая инерция.

Он более активно реагирует на эффекты, на то, «что сразу и внезапно может его поразить».

Далее, человек «скорее верит в истинность того, что предпочитает». Познанию истины мешает также несовершенство чувств, благодаря которому «остаются скрытыми тонкие перемещения частиц в телах». Все это обусловлено самой человеческой природой и названо Бэконом «призраками Рода». «Призраки Пещеры» обусловлены индивидуальными склонностями умов. Одни склонны к почитанию древности, другие к восприятию нового и т. п. «Призраки Рынка» порождены обычным словоупотреблением, общественным мнением. И наконец, «призраки Театра» обусловлены господствующими теориями, предвзятыми мнениями, суеверием. Из существования таких «призраков», по Бэкону, и вытекают серьезные трудности мыслительной работы, трудности познания природы. Правильный метод должен помочь преодолению этих «призраков», делу отыскания истины.



Бэкон разделяет ученых своего времени на два класса: эмпириков и догматиков. Эмпирики, подобно муравьям, тащат в свою муравьиную кучу всевозможные факты, догматики же, подобно пауку, ткнут ткань из самих себя. Надо, по Бэкону, в науке работать как пчела; извлекать материал из внешнего мира и перерабатывать его рационально.

В основе метода Бэкона лежит опыт. Наука должна опираться на опыт, на практику, строя из них выводы, «причины и аксиомы» методом индукции (наведения), т. е. переходя от частных фактов к обобщениям. Эти обобщения вновь проверяются опытом и практикой. «Наш путь и наш метод... состоит в следующем: мы извлекаем не практику из практики и опыт из опытов (как эмпирики), а причины и аксиомы из практики и опытов и из причин и аксиом – снова практику и опыты, как верные истолкователи природы». Научные истины проверяются, таким образом, опытом и практикой и, в свою очередь, выводятся из них.

Индуктивный метод сыграл огромную роль в развитии естествознания. Долгое время естественные науки: физику, химию, астрономию – называли индуктивными науками, противопоставляя их гуманитарным наукам и чистой математике. Но уже сам Бэкон считает, что индукция неполна и несовершенна без теоретического анализа, без использования математики: «Лучше же всего продвигается вперед естественное исследование, когда физическое завершается в математическом». Он стоит на точке зрения атомистики, утверждая, что «каждое естественное действие совершается при посредстве самых малых частиц». Прекрасную характеристику философии и метода Бэкона дал Маркс: «Настоящий родоначальник английского материализма и всей современной экспериментирующей науки – это Бэкон, Естествознание является в его глазах истинной наукой, а физика, опирающаяся на чувственный опыт, – важнейшей частью естествознания. Анаксагор с его гомеомериями и Демокрит с его атомами часто приводятся им как авторитеты. Согласно его учению, чувства непогрешимы и составляют источник всякого знания. Наука есть опытная наука и состоит в применении рационального метода к чувственным данным. Индукция, анализ, сравнение, наблюдение, эксперимент суть главные условия рационального метода». (Маркс К. и Энгельс ф. *Святое семейство, или Критика критической критики. Против Бруно Бауэра и компании. Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд, т. 2, с. 142.*)

Существенно, что Бэкон хорошо понимал необходимость финансирования науки и организации научных учреждений. В своем неоконченном фантастическом произведении «Новая Атлантида» он описывает такое учреждение – «Дом Соломона» – и его огромное значение для рационально построенного общества.

И действительно, потребность научного развития вызвала к жизни новые организации в виде научных обществ и академий. Первая такая академия – флорентийская академия

опыта – была организована в 1657 г. во Флоренции учениками и последователями Галилея.

Флорентийские академики (их было всего девять) совместно ставили и обсуждали опыты, описанные позднее в сборнике трудов академии, вышедшем в 1667 г. В этом же году покровитель академии брат герцога Тосканского Леопольд Медичи по требованию папских кругов вынужден был закрыть академию. Так церковь уничтожила наследие Галилея, нанеся тем самым огромный вред итальянской науке, уступившей лидерство в научном соревновании другим странам.

Еще раньше, чем во Флоренции, начиная с 1645 г., в Лондоне стал собираться кружок любителей естественных наук. В Англии в те годы бушевала гражданская война, участники кружка по мере развития революционных событий разделились: одни остались в Лондоне, другие собирались в Оксфорде. После реставрации кружок вновь начал собираться в Лондоне и оформился организационно, получив формальный королевский статут 28 ноября 1660 г. как Лондонское Королевское общество. Общество было основано «для преуспевания экспериментальной философии» под девизом «ничего на слово» и существует и поныне как высшее научное учреждение Англии (Английская Академия наук).

Аналогичные собрания в сороковых годах проходили в Париже. Позднее министр короля Людовика XIV Кольбер внес предложение об открытии Академии наук в Париже, которая и была утверждена в 1666 г. Затем последовали организации научных обществ и академий в других государствах. Петр I во время своего путешествия по Европе знакомился с английским королевским обществом, президентом которого в то время был Ньютон. Уже будучи императором, Петр I посетил Париж и Парижскую Академию наук. Он хорошо понимал необходимость создания в России высшего научного учреждения. Он вел длительные переговоры с учеными Европы об организации академии и 28 января 1724 г. подписал указ об учреждении Петербургской Академии наук. Она начала свою работу в 1725 г., уже после смерти Петра, когда в Петербург приехали первые академики.

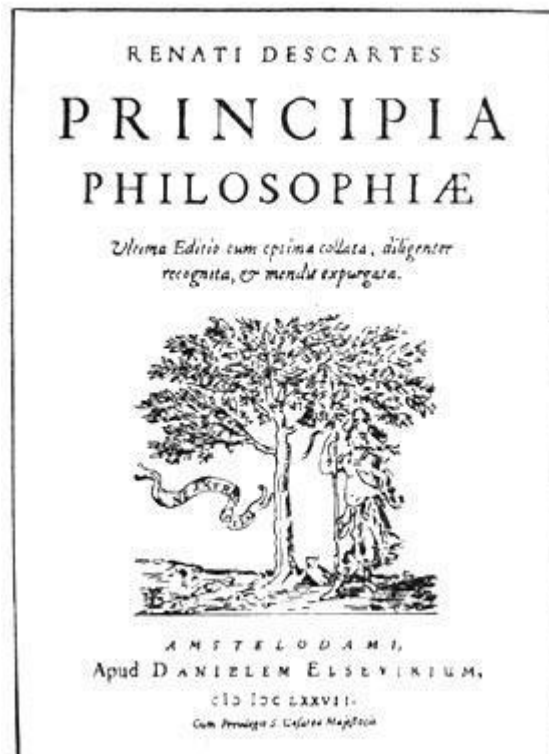


Рис. 7. 'Начала философии' Декарта. Титульный лист

Научные общества и академии были новыми центрами наук, возникшими в противовес старым университетам, все еще находившимся в плену схоластики. Однако перемены коснулись и университетов, которые постепенно втягивались в научное движение. Достаточно сказать, что в Кембриджском университете с 1669 по 1695 г. был профессором

Исаак Ньютон.

Развитие науки потребовало развития научной информации. Обычными формами такой информации были личное общение и переписка (и, конечно, книги). В эпоху Галилея жил ученый монах Мерсенн (1588–1648), который известен своими открытиями в акустике.

Но главным делом его жизни была организация взаимной научной информации ученых посредством переписки, которую он поддерживал со всеми ведущими учеными своего времени, служа своеобразным центром связи между ними. Мерсенна прозвали «человек-журнал». Но человека не стало, да и развитие науки стало таким, что один гений не мог охватить всех научных новостей, и вместо «человека-журнала» появились научные журналы. С 1665 г. начали выходить труды Лондонского Королевского общества (Philosophical Transactions), затем труды Парижской Академии наук. С 1682 г. в Лейпциге стал выходить научный журнал «Acta Eruditorum». Научная периодика и поныне является основной формой научной информации.

Таким образом, развитие науки подтверждало идеи Бэкона: опытное естествознание стало фактом общественного сознания, и были созданы новые организационные формы развития науки. Это, конечно, не означает, что наука развивалась по предначертаниям Бэкона. Просто Бэкон, как передовой человек своего времени, осознал значение науки для общественного прогресса, ее роль в развитии техники, причины неудач схоластической университетской науки и правильно понял роль опыта и практики в развитии естествознания. В XVII в. наука становится признанной общественной силой, способной помогать развитию общественного производства. Наука из служанки богословия превращается в самостоятельную форму общественного сознания.

Таким образом, мы можем говорить о происшедшей в XVII в. научной революции, в результате которой возникла классическая физика (и не только физика) в той форме и с теми методами познания, какой мы ее сегодня знаем. Говоря о методе познания, следует напомнить, что наряду с индуктивным в современной науке находит широкое применение дедуктивный метод, когда из небольшого числа общих принципов выводятся и прослеживаются в деталях частные следствия. Так, классическая механика развивается из законов Ньютона или из вариационных принципов динамики, макроскопическая электродинамика – из уравнений Максвелла и т. д. Метод дедукции был обоснован вскоре после Бэкона французским философом Рене Декартом (1596–1650) в книге «Рассуждение о методе», которая вышла в свет в 1637 г.

Следует, однако, подчеркнуть, что было бы грубым упрощением считать Декарта основателем дедуктивного метода, а Бэкона – основателем индуктивного. Оба метода зародились еще в Древней Греции, и Бэкон и Декарт лишь развили их применительно к естествознанию. При этом ни Бэкон не отрицал значения дедукции, ни Декарт не отрицал значения опыта и индукции. Научный метод основан на диалектическом сочетании индукции и дедукции, и это понимали оба великих философа. Но Бэкон подчеркивал ведущую роль опыта и индукции, Декарт же – логического анализа и правильных умозаключений. Он полагал, что в основу этих умозаключений должны быть положены ясные и простые принципы и строгая логическая последовательность выводов. Математика в методе Декарта играет первостепенную роль.

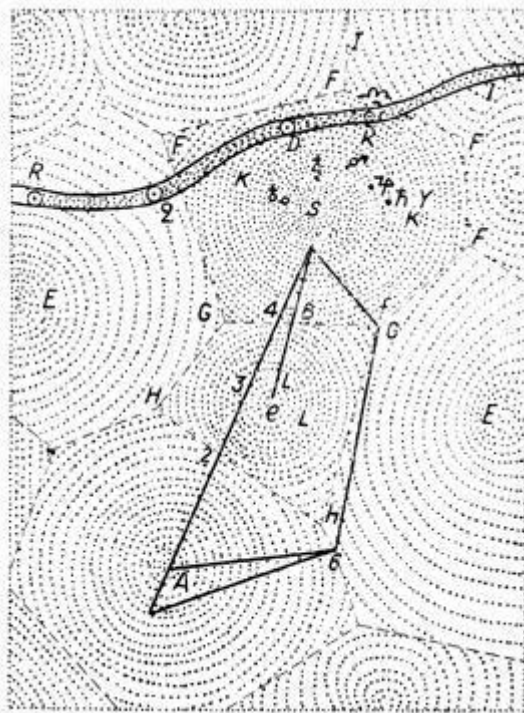


Рис. 8. Система мира по Декарту. Рисунок из 'Начал философии'

Он писал: «Те длинные цепи выводов, сплошь простых и легких, которыми обычно пользуются геометры, чтобы дойти до своих наиболее трудных доказательств, дали мне повод представить себе, что и все вещи, которые могут стать предметом знаний людей, находятся между собой в такой же последовательности. Таким образом, если остерегаться принимать за истинное что-либо, что таковым не является, и всегда наблюдать порядок, в каком следует выводить одно из другого, то не может существовать истин ни столь отдаленных, чтобы они не были недостижимы, ни столь сокровенных, чтобы нельзя было их раскрыть».

Таким образом, согласно Декарту, применяя метод геометров, т. е. ма-темагиков, можно добиться в изучении природы огромных успехов. Для этого метода нет недостижимых истин, «столь сокровенных, чтобы нельзя было их раскрыть». Эта вера в мощь математического метода весьма характерна для Декарта, и он особенно ценил Галилея за то, что тот «старается изучать вопросы с помощью математического рассуждения».

Но основной проблемой физики XVII в. были законы движения. Как применить математику к движению? И здесь Декарту принадлежит решающее открытие: он ввел в математику переменные величины, установил соответствие между геометрическими образами и алгебраическими уравнениями; Декарт положил начало аналитической геометрии. Здесь он «первые применил свой метод: «Приняв во внимание, что среди всех, искавших истину в науках, только математикам удалось найти некоторые доказательства, т.е. некоторые точные и очевидные соображения, я не сомневался, что и мне следовало начать с того, что было ими обследовано» Результатом такого начала явилась «геометрия», приложенная к «Рассуждению о методе». Другими приложениями являются «Диоптрика» и «Метеоры».

Когда идея или открытие назревает, она возникает почти одновременно в нескольких головах. Так было и с идеей переменной величины. Галилей в своих механических исследованиях хорошо понимал необходимость оперирования переменными величинами. Идея мгновенной скорости, меняющейся от момента к моменту, была им освоена во всей полноте. В «Диалоге» он описывает, как свободно падающее тело проходит через все ступени скорости, начиная с нулевой. Собеседники не сразу могут принять эту идею, им трудно понять, что падающее ядро обладает вначале такой скоростью, что, сохранись она

неизменной, ядро не достигло бы Земли и за день. Сальвиати подхватывает эту мысль, усиливает ее. «Можете сказать в год, в десять, в тысячу лет»

В «Беседах» обсуждение переменной скорости падающего тела занимает видное место. Сагрето вновь возвращается к своей Мысли: «Надлежит признать, что для промежутков времени, все более и более близких к моменту выхода тела из состояния покоя, мы придем к столь медленному движению, что при сохранении постоянства скорости тело не пройдет мили ни в час, ни в день, ни в год, ни даже в тысячу лет; даже в большее время оно не продвинется и на толщину пальца – явление, которое весьма трудно себе представить, особенно когда наши чувства показывают, что тяжелое падающее тело сразу же приобретает большую скорость». Сальвиати подробно разъясняет это обстоятельство и, в частности, указывает, что при бросании тела вверх оно постоянно уменьшает свою скорость до полной остановки. Симпличио возражает в духе апорий Зенона, что невозможно исчерпать бесконечное количество степеней медленности и, таким образом, брошенное вверх тело никогда не останавливается. Возражение Симпличио Сальвиати парирует чрезвычайно сильно: «Это случилось бы, синьор Симпличио, если бы тело двигалось с каждой степенью скорости некоторое определенное время, но оно только проходит через эти степени, не задерживаясь более чем на мгновение, а так как в каждом, даже самом малом, промежутке времени содержится множество мгновений, то их число является достаточным для соответствия бесконечному множеству степеней скорости».

Как видно из этого опыта, Галилей отчетливо представляет текучесть переменной величины, которая проходит последовательно все значения и не задерживается «более чем на мгновение» Мгновение – бесконечно малая величина, число мгновений в небольшом промежутке времени бесконечно велико и взаимно однозначно соответствует числу значений переменной величины. Галилей владеет идеей взаимно однозначного соответствия бесконечных множеств. Это видно, например, из его утверждения, что всех членов натурального ряда чисел «столько же», сколько полных квадратов этих чисел.

Галилей независимо от Декарта пришел к идее представления переменной величины линией. Этой идеей он пользовался для вывода закона пути равноускоренного движения. Он разработал остроумный метод измерения конечной скорости падающего тела по глубине ямки, оставленной в мягкой пластине упавшим телом Установив, что эта глубина пропорциональна высоте падения, Галилей пришел сначала к ошибочному выводу, что скорость падающего тела пропорциональна пройденному пути Но он скоро понял свою ошибку и установил, что в равноускоренном движении скорость пропорциональна времени Изображая время отрезками вертикальной прямой, он изображал скорость, полученную телом в конце данного промежутка времени, отрезком перпендикуляра к оси времен, восстановленного в конце соответствующего отрезка времени.

Таким образом, Галилей впервые изобразил зависимость скорости от времени графически, и его график отличается от принятого ныне только тем, что время мы откладываем теперь по горизонтальной оси, а скорость – по вертикальной, что, конечно, совершенно несущественно Путь, пройденный телом за данный промежуток времени, Галилеи определяет по графику, суммируя все отрезки скорости, т.е. находит площадь фигуры (в случае равномерного движения – прямоугольника, в случае равноускоренного движения – прямоугольного треугольника), образованной графиком скорости, осью времен и начальным и конечным отрезками скорости По существу он выполняет операцию интегрирования.

Ученики Галилеа Кавальери и Торричелли также внесли свой вклад в основание теории бесконечно малых Дело создания основ математики переменных величин было завершено Ньютоном и Лейбницем.

Вернемся, однако, к Декарту В 1644 г Декарт издал обширное сочинение под названием «Начала философии» В него вошли части сочинения Декарта о мире (космосе), которое он намеревался издать еще в 1633 г Услышав об осуждении Галилея, он отложил издание своего сочинения и только спустя одиннадцать лет обнаружил его в расширенном

и переработанном виде В этом сочинении он изложил грандиозную программу создания теории природы, руководствуясь своим методологическим правилом брать за основу наиболее простые и ясные положения Еще в «Рассуждении о методе» Декарт подверг анализу всевозможные исходные положения, сомневаясь в справедливости любого из них, в том числе и в положении «Я существую» Однако в акте мышления сомнение невозможно, ибо наше сомнение уже есть мысль Отсюда знаменитое положение Декарта «Я мыслю, следовательно, существую» Чтобы обезопасить свое учение от нападков церковников, Декарт говорит о существовании бога и внешнего мира, созданного богом Но обмануть церковников не удастся, они распознали материалистическую сущность системы Декарта, и ученому под конец жизни пришлось искать убежища в Швеции, где он и умер Верный своему методу, Декарт ищет в материальном субстрате самое основное и простое и находит его в протяженности.

Материя Декарта – это чистая протяженность, материальное пространство, заполняющее всю безмерную длину, ширину и глубину Вселенной Части материи находятся в непрерывном движении, взаимодействуя друг с другом при контакте.

Взаимодействие материальных частиц подчиняется основным законам или правилам «Первое правило заключается в следующем каждая частица материи в отдельности продолжает находиться в одном и том же состоянии до тех пор, пока столкновение с другими частицами не вынуждает ее изменить это состояние»

«В качестве второго правила я предполагаю следующее если одно тело сталкивается с другим, оно не может сообщить ему никакого другого движения, кроме того, которое потеряет во время этого столкновения, как не может и отнять у него больше, чем одновременно приобрести себе»

«В виде третьего правила я прибавлю, что хотя при движении тела его путь чаще всего представляется в форме кривой линии и что хотя невозможно произвести ни одного движения, которое не было бы в каком-либо виде круговым, тем не менее каждая из частиц тела по отдельности всегда стремится продолжать его по прямой линии»

В этих «правилах» обычно усматривают формулировку закона инерции и закона сохранения количества движения В отличие от Галилея Декарт отвлекается от действия тяготения, которое он, между прочим, также сводит к движению и взаимодействию частиц, и упоминает о направлении инерционного движения по прямой Однако его формулировка еще отличается от ньютоновской, он говорит не о состоянии равномерного и прямолинейного движения, а вообще о состоянии, не разъясняя подробно содержания его термина.

Из всего содержания «Начал» видно, что состояние частей материи характеризуется их величиной («количество материи»), формой, скоростью движения и способностью изменять эту скорость под воздействием внешних частиц Можно отождествить эту способность с инерцией, и тогда в одном из писем Декарта мы встречаем очень интересное утверждение «Можно утверждать с достоверностью, что камень неодинаково расположен к принятию нового движения или к увеличению скорости, когда он движется очень скоро и когда он движется очень медленно».

Другими словами: Декарт утверждает, что инерция тела зависит от его скорости. Известный русский физик Н. А. Умов, приводя в 1896 г. эту выдержку, подчеркнул важность утверждения Декарта и высказал мысль, что при скоростях, близких к скорости света, масса тела должна возрастать. Как известно, закон возрастания массы со скоростью был установлен в теории относительности Эйнштейном, а для электромагнитной инерции – Д. Д. Томсоном.

В письмах Декарта встречается формулировка закона инерции, уже почти текстуально совпадающая с ньютоновской: «Полагаю, что природа движения такова, что, если тело пришло в движение, уже этого достаточно, чтобы оно его продолжало с той же скоростью и в направлении той же прямой линии, пока оно не будет остановлено или отклонено какой-либо другой причиной».

Этот принцип сохранения скорости по модулю и направлению тем более интересен у

Декарта, что, по его представлению, пустоты в мире нет и всякое движение является циклическим: одна часть материи занимает место другой, эта – предыдущей и т. д. В результате вся Вселенная пронизана вихревыми движениями материи. Движение во Вселенной вечно, так же как и сама материя (хотя Декарт и пишет о сотворении материи и движения богом, но в дальнейшем бог устраняется и природа действует по собственным законам), и все явления в мире сводятся к движениям частиц материи. Вначале эти движения были хаотическими и беспорядочными, в результате этих движений частицы дробились и сортировались.

По Декарту, существуют три сорта частиц (три элемента): частицы земли, воздуха (неба), огня. Наиболее крупные частицы – это частицы земли. Они погружены в среду из частиц неба, в которые вкраплены также частицы огня, образующие Солнце. Вихревые движения круглых подвижных частиц «неба» увлекают в своем движении планеты, состоящие из элементов земли. Вся Вселенная разбита на такие вихревые области, которые можно рассматривать как предшественники современных галактик. Такова космогоническая гипотеза Декарта.

В физике Декарта нет места силам, тем более силам, действующим на расстоянии через пустоту. Все явления мира сводятся к движениям и взаимодействию соприкасающихся частиц. Такое физическое воззрение получило в истории науки название картезианского, от латинского произношения имени Декарта – Картезий. Картезианское воззрение сыграло огромную роль в эволюции физики и, хотя и в сильно измененной форме, сохранилось до нашего времени. Все попытки построить единую теорию поля и вещества по существу повторяют на новой основе попытку Декарта построить физическую картину мира с непрерывной материей и сохраняющимся механическим движением.

Первые успехи экспериментальной физики

Итак, примерно с сороковых годов XVI столетия до сороковых годов XVII столетия (от Коперника до Галилея) происходил сложный революционный процесс замены средневекового мировоззрения и науки новым мировоззрением и новой, базирующейся на опыте и практике наукой. Была проделана большая работа по обоснованию и укреплению гелиоцентрической системы мира (Коперник, Бруно, Кеплер, Галилей), по критике перипатетической методологии и науки, по выработке методологических основ новой науки (Бэкон, Галилей, Декарт). Успех этого большого, необычайно важного для развития всей человеческой культуры и общественного сознания дела определился в значительной мере достигнутыми конкретными научными и практическими результатами. Новая наука и новое мировоззрение доказывали свою правоту и силу делом, а не бесплодными словопрениями. XVII век был веком победы научной революции.

Успехи экспериментального и математического метода обозначились прежде всего в механике. Уже Леонардо да Винчи по-новому подошел к статическим и динамическим задачам механики. XVI век был веком освоения античного наследства. Коммандино (1509-1575) перевел труды Евклида, Архимеда, Герона, Паппа Александрийского. Ученик Коммандино, покровитель и друг Галилея, Гвидо Убальдо дель Монте (1545–1607) издал в 1577 г. сочинение по статике, в котором изложил работы древних авторов и развил их, решая задачу равновесия косоугольного рычага, не зная, что эта задача была уже решена Леонардо. Гвидо Убальдо ввел в науку термин «момент». Этот термин вообще широко использовался в XVI и начале XVII в., в частности Галилеем, однако у Убальдо он наиболее подходит к современному понятию «статический момент силы». Гвидо Убальдо показывает, что для равновесия рычага важны значения сил и длины перпендикуляров, опущенных из точки опоры на линии действия сил (грузов). Совокупность обоих факторов, обуславливающих действие силы в рычаге, он называет моментом и формулирует условие равновесия рычага в виде равенства моментов.

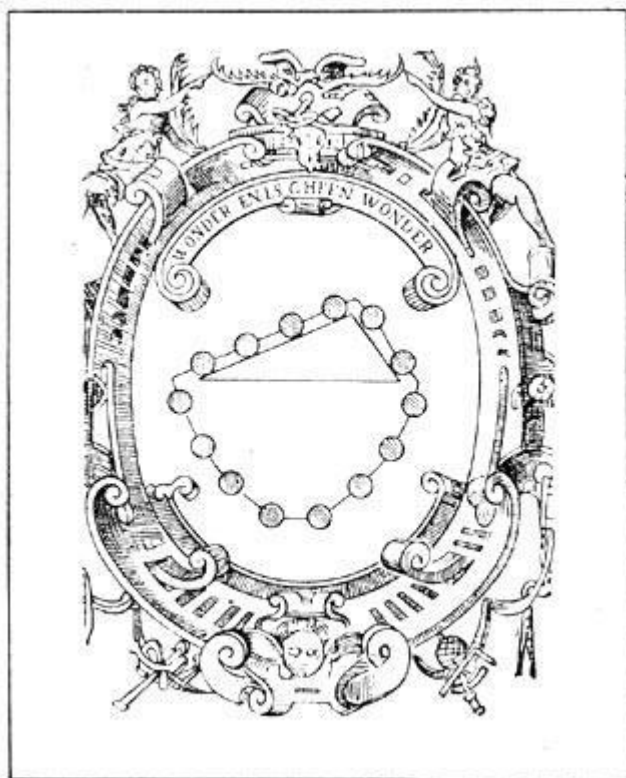


Рис. 9. Титул книги Стевина

Новый подход к статическим проблемам мы находим в классическом труде «Начала статики» голландского инженера и математика Симона Стевина (1548–1620), которому математика обязана введением десятичных дробей. Математический подход у Стевина сочетается с опытом и технической практикой. На титульном листе трактата Стевина нарисована наклонная плоскость, обвитая цепью, составленной из соединенных вместе шаров. Надпись над рисунком гласит: «Чудо и не чудо». Наклонная плоскость на рисунке изображена в виде прямоугольного треугольника с горизонтальной гипотенузой. Часть цепи, обвивающая гипотенузу, имеет большую длину и содержит большее число шаров, чем те ее участки, которые прилегают к катетам. Большая часть имеет больший вес, поэтому, казалось бы, что вес цепи, прилежащей к большему катету, перетянет, и цепь придет в движение. Но так как картина распределения шаров при этом не меняется, то движение должно продолжаться вечно. Вечное движение Стевин считает невозможным, поэтому он полагает, что действие веса шаров на обоих катетах одинаково (нижняя часть роли не играет, она совершенно симметрична). Отсюда он заключает, что сила, скатывающая груз по наклонной плоскости, во столько же раз меньше веса груза, во сколько раз высота плоскости меньше ее длины. Так была решена задача, перед которой остановились Архимед, арабские и европейские механики.

Но Стевин пошел еще дальше. Он понял векторный характер силы и впервые нашел правило геометрического сложения сил. Рассматривая равновесие цепи на треугольнике, Стевин заключил, что если три силы параллельны сторонам треугольника и их модули пропорциональны длинам этих сторон, то они уравниваются. В сочинении Стевина содержится также принцип возможных перемещений в применении к полиспаду: во сколько раз полиспаст дает выигрыш в силе, во столько же раз проигрывает в пути, меньший груз проходит больший путь.

Особенно важна часть трактата Стевина, посвященная гидростатике. Для изучения условий равновесия тяжелой жидкости Стевин пользуется принципом отвердевания – равновесие не нарушится, если части уравновешенного тела получают дополнительные связи, отвердеют. Поэтому, выделив мысленно в массе тяжелой жидкости, находящейся в равновесии, произвольный объем, мы не нарушим этого равновесия, считая жидкость в этом

объеме отвердевшей. Тогда она представит собой тело, вес которого равен весу воды в объеме этого тела. Поскольку тело находится в равновесии, на него со стороны окружающей жидкости действует сила, направленная вверх, равная его весу.

Так как окружающая тело жидкость остается неизменной, если это тело заменить любым другим телом той же формы и объема, то она всегда действует на тело с силой, равной весу жидкости в объеме тела.

Это изящное доказательство закона Архимеда вошло в учебники.

Стевин доказывает далее путем логических рассуждений и подтверждает экспериментом, что весовое давление жидкости на дно сосуда определяется площадью дна и высотой уровня жидкости и не зависит от формы сосуда. Значительно позже этот гидростатический парадокс был открыт Паскалем, не знавшим сочинения Стевина, написанного на мало распространенном голландском языке.

Как практик-кораблестроитель, Стевин рассматривает условия плавания тел, подсчитывает давление жидкости на боковые стенки, решая вопросы, важные для кораблестроения.

Таким образом, Стевин не только восстановил результаты Архимеда, но и развил их. С него начинается новый этап в истории статики и гидростатики.

Почти одновременно со Стевином и независимо от него вопросы статики и гидростатики решал Галилей. Он также нашел закон равновесия тел на наклонной плоскости, которую вообще изучил очень подробно. Наклонная плоскость сыграла важную роль в механических исследованиях Галилея. К этому мы еще вернемся при обсуждении динамики Галилея.

Галилей восстановил в более простой и измененной форме архимедовское доказательство закона рычага. Он обосновал его заново, опираясь по существу на принцип возможных перемещений (с помощью этого не сформулированного им еще в явной форме принципа Галилей обосновал и закон наклонной плоскости).

Обсуждению закона Архимеда и условий плавания тел посвящено вышедшее в 1612 г. сочинение Галилея «Рассуждения о телах, пребывающих в воде». И это сочинение Галилея нераздельно связано с его борьбой за новое мировоззрение и новую физику. Он писал: «Я решил написать настоящее рассуждение, в котором надеюсь показать, что я часто расхожусь с Аристотелем во взглядах не по прихоти и не потому, что я не читал его или не понял, но в силу убедительных доказательств». В этом сочинении он пишет и о своих новых исследованиях спутников Юпитера, и об открытых им солнечных пятнах, наблюдая которые он вывел, что Солнце медленно вращается вокруг своей оси.

Переходя к основной теме сочинения, Галилей полемизирует с перипатетиками, считающими, что плавание тел определяется прежде всего формой тела. Оригинален подход Галилея к обоснованию закона Архимеда и теории плавания тел. Он рассматривает поведение тела в жидкости в ограниченном объеме и ставит вопрос о весе жидкости способной удержать тело заданного веса. *(Вопрос Галилея обсуждался на страницах советских научно-популярных журналов Ему посвящались страницы фундаментальных монографий по гидростатике и механике)*

Главная заслуга Галилея в обосновании динамики. К тому, что уже было сказано по этому вопросу, нам остается добавить немного, но это немного имеет существенное значение. Галилею принадлежит фундаментальное открытие независимости ускорения свободного падения от массы тела, которое он нашел, опровергая мнение Аристотеля, что скорость падения тел пропорциональна их массе. Галилей показал, что эта скорость одинакова для всех тел, если отвлечься от сопротивления воздуха, и пропорциональна времени падения, пройденный же в свободном падении путь пропорционален квадрату времени.

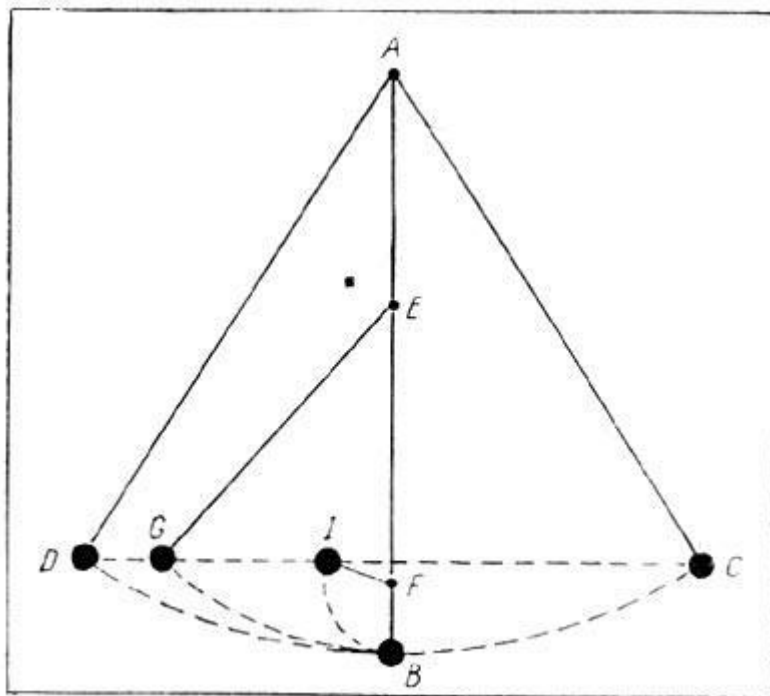


Рис. 10. Маятник Галилея

Открыв законы равноускоренного движения, Галилей одновременно открыл закон независимости действия силы. В самом деле, если сила тяжести, действуя на покоящееся тело, сообщает ему за первую секунду определенную скорость, т. е. изменяет скорость от нуля до некоторого конечного значения ($9,8 \text{ м/с}$), то в следующую секунду, действуя уже на движущееся тело, она изменит его скорость на ту же самую величину и т. д. Это и отражается законом пропорциональности скорости падения времени падения. Но Галилей не ограничился этим и, рассматривая движение тела, брошенного горизонтально, настойчиво подчеркивал независимость скорости падения от сообщенной телу при бросании горизонтальной скорости: «Не замечательная ли вещь, – говорит Сагрето в «Диалоге», – что в то самое малое время, которое требуется для вертикального падения на землю с высоты каких-нибудь ста локтей, ядро, силою пороха выброшенное из пушки, пройдет четыреста, тысячу, четыре тысячи, десять тысяч локтей, так что при всех горизонтально направленных выстрелах останется в воздухе одинаковое время».

Галилей определяет и траекторию горизонтально брошенного тела. В «Диалоге» он считает ее ошибочно дугой окружности. В «Беседах» он исправляет свою ошибку и находит, что траектория движения тела параболическая.



Законы свободного падения Галилей проверяет на наклонной плоскости. Он устанавливает важный факт, что скорость падения не зависит от длины, а зависит только от высоты наклонной плоскости. Далее он выясняет, что тело, скатившееся по наклонной плоскости с определенной высоты, поднимется на ту же высоту в отсутствие трения. Поэтому и маятник, отведенный в сторону, пройдя через положение равновесия, поднимется на ту же высоту независимо от формы пути. Таким образом Галилей по существу открыл консервативный характер поля тяготения. Что же касается времени падения, то оно в соответствии с законами равноускоренного движения пропорционально корню квадратному из длины плоскости. Сравнивая времена скатывания тела по дуге окружности и по стягивающей ее хорде, Галилей находит, что тело скатывается быстрее по окружности. Он полагает также, что время скатывания не зависит от длины дуги, т. е. дуга окружности изохронна. Это утверждение Галилея справедливо только для малых дуг, но оно имело очень важное значение. Открытие изохронности колебаний кругового маятника Галилей использовал для измерения промежутков времени и сконструировал часы с маятником. Конструкцию своих часов он не успел опубликовать. Она была опубликована после его смерти, когда маятниковые часы уже были запатентованы Гюйгенсом.

Изобретение маятниковых часов имело огромное научное и практическое значение, и Галилей чутко понял значение своего открытия. Гюйгенс исправил ошибку Галилея, показав, что изохронной является циклоида, и использовал в своих часах циклоидальный маятник. Но теоретически правильный циклоидальный маятник практически оказался неудобным, и практики перешли к галилеевскому, круговому маятнику, который и поныне применяется в часах.

Еще при жизни Галилея Эванджелиста Торричелли (1608–1647) обратил на себя его внимание своим сочинением, в котором решил задачу о движении тела, брошенного с начальной скоростью под углом к горизонту. Торричелли определил траекторию полета (она оказалась параболой), вычислил высоту и дальность полета, показав, что при заданной начальной скорости наибольшая дальность достигается при направлении скорости под углом 45° к горизонту. Торричелли разработал метод построения касательной к параболе. Задача нахождения касательных к кривым привела к возникновению дифференциального исчисления. Галилей пригласил Торричелли к себе и сделал его своим учеником и преемником.

Имя Торричелли навсегда вошло в историю физики как имя человека, впервые доказавшего существование атмосферного давления и получившего «торричеллиеву пустоту». Еще Галилей сообщал о наблюдении флорентийских колодезников, что вода не

вытягивается насосом на высоту более некоторого определенного значения, составляющего немного более Юм. Галилей заключил отсюда, что аристотелевская «боязнь пустоты» не превышает некоторого измеряемого значения.

Торричелли пошел дальше и показал, что в природе может существовать пустота. Исходя из представления, что мы живем на дне воздушного океана, оказывающего на нас давление, он предложил Вивiani (1622–3703) измерить это давление с помощью запаянной трубки, заполненной ртутью. При опрокидывании трубки в сосуд с ртутью ртуть из нее выливалась не полностью, а останавливалась на некоторой высоте, так что в трубке над ртутью образовывалось пустое пространство. Вес столба ртути измеряет давление атмосферы. Так был сконструирован первый в мире барометр.

Открытие Торричелли вызвало огромный резонанс. Рухнула еще одна догма перипатетической физики. Декарт сразу же предложил идею измерения атмосферного давления на различных высотах. Эта идея была реализована французским математиком, физиком и философом Паскалем Блезом Паскалем (1623–1662) – замечательный математик, известный своими результатами в геометрии, теории числа, теории вероятностей и т. д., вошел в историю физики как автор закона Паскаля о всесторонней равномерной передаче давления жидкости, закона сообщающихся сосудов и теории гидравлического пресса. В 1648 г. по просьбе Паскаля его родственником был произведен опыт Торричелли у подножия и на вершине горы Пюи де Дом и был установлен факт падения давления воздуха с высотой.

Совершенно ясно, что «боязнь пустоты», которую еще в 1644 г. признавал Паскаль, противоречила этому результату, как и установленному еще Торричелли факту изменения высоты ртутного столба в зависимости от состояния погоды. Из опыта Торричелли родилась научная метеорология. Дальнейшее развитие открытия Торричелли привело к изобретению воздушных насосов, открытию закона упругости газов и изобретению паровых машин, положившему начало развитию теплотехники. Итак, достижения науки стали служить технике. Наряду с механикой стала развиваться оптика. Здесь практика опередила теорию. Голландские мастера очков построили первую оптическую трубу, не зная закона преломления света. Этого закона не знали Галилей и Кеплер, хотя Кеплер правильно чертил ход лучей в линзах и системах линз. Закон преломления нашел голландский математик Виллеброрд Снел-лиус (1580-1626). Однако он его не опубликовал. Впервые опубликовал и обосновал этот закон с помощью модели частиц, меняющих скорость движения при переходе из одной среды в другую, Декарт в своей «Диоптрике» в 1637 г. Эта книга, являющаяся одним из приложений к «Рассуждению о методе», характерна своей связью с практикой. Декарт отправляется от практики изготовления оптических стекол и зеркал и приходит к этой практике. Он ищет средства избежать несовершенства стекол и зеркал, средства устранения сферической аберрации. С этой целью он исследует различные формы отражающих и преломляющих поверхностей: эллиптическую, параболическую и т. д.

Б. Паскаль



Связь с практикой, с оптическим производством вообще характерна для оптики XVII в. Крупнейшие ученые этой эпохи, начиная с Галилея, сами изготавливали оптические приборы, обрабатывали поверхность стекол, изучали и совершенствовали опыт практиков. Степень обработки поверхностей линз, изготовленных Торричелли, была настолько совершенна, что современные исследователи предполагают, что Торричелли владел интерференционным методом проверки качества поверхностей. Голландский философ Спиноза добывал средства к существованию изготовлением оптических стекол. Другой голландец – Левенгук – изготавливал превосходные микроскопы и стал основателем микробиологии. Ньютон, современник Снеллиуса и Левенгука, был изобретателем телескопа и собственноручно, с необыкновенным терпением шлифуя и обрабатывая поверхности, изготавливал их. В оптике физика шла рука об руку с техникой, и эта связь не порывается до настоящего времени.

Другим важным достижением Декарта в оптике была теория радуги. Он правильно построил ход лучей в дождевой капле, указал, что первая, яркая дуга получается после двукратного преломления и одного отражения в капле, вторая дуга – после двукратного преломления и двукратного отражения. Открытое Кеплером явление полного внутреннего отражения используется, таким образом, в декартовской теории радуги. Однако причины радужных цветов Декарт не исследовал. Предшественник Декарта в исследовании радуги, умерший в тюрьме инквизиции Доминис воспроизвел цвета радуги в стеклянных шарах, заполненных водой (1611).

Начало исследования в области электричества и магнетизма было положено книгой врача английской королевы Елизаветы Уильяма Гильберта (1540–1603) «О магните, магнитных телах и о большом магните – Земле, новая физиология», вышедшей в 1600 г. Гильберт первый дал правильное объяснение поведению магнитной стрелки в компасе. Ее конец не «влечется» к небесному полюсу (как думали до Гильберта), а притягивается полюсами земного магнита. Стрелка находится под воздействием земного магнетизма, магнитного поля земли, как объясняем мы теперь.

Гильберт подтвердил свою идею моделью земного магнита, выточив из магнитного железняка шар, который он назвал «терреллой», т. е. «земелькой». Изготовив маленькую стрелку, он демонстрировал ее наклонение и изменение угла наклонения с широтой.

Магнитное склонение на своей террелле Гильберт продемонстрировать не мог, так как полюса его терреллы были для него и географическими полюсами.

Далее Гильберт открыл усиление магнитного действия железным якорем, которое правильно объяснил намагничением железа. Он установил, что намагничение железа и стали

происходит и на расстоянии от магнита (магнитная индукция).

Ему удалось намагнитить железные проволоки магнитным полем Земли. Гильберт отметил, что сталь в отличие от железа сохраняет магнитные свойства после удаления магнита. Он уточнил, наблюдение Перегринна, показав, что при разламывании магнита всегда получаются магниты с двумя полюсами и, таким образом, разделение двух магнитных полюсов невозможно.

Крупный шаг вперед сделал Гильберт и в изучении электрических явлений.

Экспериментируя с различными камнями и веществами, он установил, что, кроме янтаря, свойство притягивать легкие предметы после натирания приобретает ряд других тел (алмаз, сапфир, аметист, горный хрусталь, сера, смола и т. д.), которые он назвал электрическими, т.

е. подобными янтарю. Все прочие тела, в первую очередь металлы, которые не обнаруживали такие свойства, Гильберт назвал «неэлектрическими». Так в науку вошел термин «электричество», и так было положено начало систематическому изучению электрических явлений. Гильберт исследовал вопрос о сходстве магнитных и электрических явлений и пришел к выводу, что эти явления глубоко различны и не связаны между собой.

Этот вывод держался в науке более двухсот лет, пока Эрстед не открыл магнитное поле электрического тока.

«Я воздаю величайшую хвалу и завидую этому автору», – писал Галилей в «Диалоге» о книге Гильберта. «Он кажется мне достойным величайшей похвалы также и за много сделанных им новых и достоверных наблюдений, ...и я не сомневаюсь, что с течением времени эта новая наука будет совершенствоваться путем новых наблюдений и в особенности путем правильных и необходимых доказательств. Но от этого не должна уменьшаться слава первого наблюдателя».

Нам осталось добавить несколько слов об изучении тепловых явлений. Теплота и холод в аристотелевской физике были одними из первичных качеств и поэтому дальнейшему анализу не подлежали. Конечно, представления о «степени нагретости» или холода существовали и раньше, люди отмечали и сильный холод, и сильную жару. Но только в XVII в. начались попытки определения температуры более объективными показателями, чем человеческие ощущения. Один из первых термометров, точнее, термоскопов был изготовлен Галилеем. Исследования тепловых явлений после смерти Галилея продолжали флорентийские академики. Появились новые формы термометров. Ньютон изготовил термометр с льняным маслом.

Однако термометрия прочно встала на ноги только в XVIII в., когда научились изготавливать термометры с постоянными точками. Во всяком случае, в эпоху Галилея намечился научный подход к изучению тепловых явлений. Были сделаны и первые попытки построить теорию теплоты. Интересно, что Бэкон решил применить свой метод именно к исследованию теплоты.

Собрав большое количество сведений, в том числе и непроверенных фактов, расположив их в придуманной им таблице «Положительных инстанций» и «Отрицательных инстанций», он все же пришел к правильному выводу, что теплота является формой движения мельчайших частиц.

Глава пятая. Завершение борьбы за гелиоцентрическую систему

Дальнейшие успехи экспериментальной физики

Церковь сожжением Бруно, запрещением учения Коперника и осуждением Галилея рассчитывала запугать ученых и остановить распространение новых идей. Ей действительно удалось кое-кого запугать. Так, Декарт, закончивший свою «Космогонию», услышав об осуждении Галилея, отказался ее печатать. Но остановить распространение нового научного движения не удалось. Следуя примеру Галилея, ученые всех стран интенсивно занимались

экспериментальными исследованиями и развитием научных понятий, подготавливая тем самым почву для физического обоснования системы Коперника, которое и было дано в конце XVII в. Ньютоном. Мы рассмотрим здесь новые успехи экспериментальной физики, достигнутые после Галилея.



Р. Бойль

При этом следует прежде всего отметить достижения, связанные с открытием Торричелли. Перипатетики все еще упорно держались за старую «боязнь пустоты» и придумывали всевозможные объяснения опыту Торричелли. Один из основателей Лондонского Королевского общества – Роберт Бойль (1627–1691) – выдающийся химик и экспериментатор, опровергая мнение перипатетиков, что ртуть в трубке Торричелли удерживается невидимыми нитями, решил исследовать упругость воздуха. Взяв (U-образную) трубку, запаянный конец которой был короче открытого, он подливал в открытый конец ртуть, показывая, что ртутный столб уравнивает избыточную упругость сжатого воздуха. Помощник Бойля Тоунли, рассматривая запись высот ртути в открытом и закрытом коленях, подметил обратную пропорциональность между избыточной высотой ртутного столба и объемом воздуха в закрытом колене. Бойль, тщательно исследовав эту закономерность при давлениях выше и ниже атмосферного, установил закон, носящий ныне его имя. Свои опыты он описал в сочинении «Защита доктрины, относящейся к упругости и весу воздуха», вышедшем в 1662 г.

Через 14 лет вышло сочинение французского аббата Мариотта (1620-1684) «Опыт о природе воздуха», в котором Мариотт независимо от Бойля описал аналогичные опыты, приведшие его к тому же выводу. История оказалась благожелательной к Мариотту и, несмотря на очевидный приоритет Бойля, соединила его имя с именем последнего. Закон Бойля – Мариотта ныне известен каждому школьнику, хотя правильнее его было бы назвать законом Бойля – Тоунли. Бойль неутомимо экспериментировал. Его опытам с упругостью воздуха предшествовало изобретение воздушного насоса. С помощью насоса он обнаружил понижение ртутного столба при откачивании воздуха, более раннее закипание воды при пониженном давлении (понижение точки кипения), прекращение действия сифона в вакууме и т. д. Эти опыты были описаны в сочинении «Новые физико-механические опыты, касающиеся упругости воздуха», вышедшем в 1660 г.

Через три года после проведения опытов с воздушным насосом и через год после открытия газового закона Бойль опубликовал работу «Опыты и рассуждения, касающиеся цветов», где описывал интерференционные явления в тонких пленках (мыльных и тонких стенках стеклянных шаров). Бойль отошел от перипатетического представления о цветах как

некоторых специфических качествах тел и объяснил цвета количеством отраженного света.

Большие заслуги Бойль имеет в химии. Его сочинение «Скептический химик» рассматривается как начало новой, научной химии в противовес алхимии. Бойль ввел новое понимание элемента, отличное от аристотелевского и алхимического. Ему также принадлежит заслуга введения атомистики в химию. Вместе с тем Бойль разделял многие ошибочные представления своего времени, и Ломоносов, проверяя опыты Бойля, опроверг его утверждение об увеличении веса металлов при обжигании. Произведя опыты с накаливанием металлов в запаянных сосудах, Ломоносов установил, что общий вес металлов и сосуда остается неизменным и что «мнение Роберта Бойля ложно». Этими опытами Ломоносов впервые установил закон сохранения веса веществ при химических реакциях и предварил опыты Лавуазье, из которых вытекала правильная теория горения.

Воздушный насос – предшественник современных вакуумных насосов – был сконструирован в пятидесятых годах XVII в. магдебургским бургомистром Отто Герике (1602–1686), который, приняв доктрину о существовании пустоты, поставил своей целью получение пустоты в достаточных количествах, чтобы можно было экспериментировать с нею. Вначале он пытался получить пустоту откачиванием воды из бочки, но это, понятно, не удалось, место воды немедленно занимал воздух. Заменив бочку медным шаром и откачивая из него воздух насосом, Герике убедился, что по мере разрежения поршень насоса с трудом вытягивался физически сильным рабочим. Герике укрепил цилиндр насоса на треножнике, привинченном к полу, и снабдил рукоятку поршневого штока рычагом. С этим насосом он провел ряд эффектных опытов, иллюстрирующих огромную силу атмосферного давления, в том числе и знаменитый опыт с магдебургскими полушариями, который он демонстрировал перед членами рейхстага 8 мая 1654 г.

Книга Герике «Новые магдебургские опыты о пустом пространстве» вышла в свет в 1672 г. с замечательными иллюстрациями, изображающими различные опыты, проведенные Герике. Книга с иллюстрациями давала яркое представление о силе атмосферного давления, и мысль о возможности использования этой силы неизбежно возникала у многих людей.

О. Герике



Герике был искусным экспериментатором. Он усовершенствовал барометр, термометр, построил первую электрическую машину. Машина Герике представляла собой шар из серы, вращающийся на железной оси. Вращающийся шар натирался рукой. Герике впервые наблюдал электрическое отталкивание, электрическую проводимость, незначительные электрические разряды, сопровождающиеся потрескиванием. К сожалению, Герике не приводил в действие свою машину в темноте, обнаруженное при этом свечение, несомненно, привлекло бы внимание его к электрическим опытам.



Рис. 11. Опыт с магдебургскими полушариями



Рис. 12. Титульный лист 'Новых опытов' Герике

Колокол с тарелкой для воздушного насоса был введен Христианом Гюйгенсом. Гюйгенс же сконструировал ртутный манометр для измерения низких давлений. Известный изобретатель парового котла (а также паровой машины) Дени Папен (1647–1714) заменил в насосе кран клапаном. Первая пароатмосферная водоподъемная машина была спроектирована в 1698 г. Севери. Оптика продолжала свое дальнейшее развитие после Галилея и Декарта. Ученик Галилея математик Кавальери (1598–1647) установил для двояковыпуклых и двояковогнутых линз соотношение:

$$\frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{2R_2}{F},$$

где R_1 , и R_2 – радиусы сферических поверхностей, ограничивающих линзы, причем R_2 – радиус поверхности, на которую падает пучок параллельных лучей, формула Кавальери представляет собой частный случай выражения фокусного расстояния линзы для $n = 1,5$.

Общая формула линзы была получена Эдмундом Галлеем (1656-1742) только в 1693 г.

Декартовское обоснование закона преломления подверг критике знаменитый математик Пьер ферма (1601–1665), который в противовес Декарту вывел закон преломления на основе принципа наименьшего времени распространения света. Этот принцип в истории физики сыграл большую роль. В 1648 г. чешский ученый Иоханнес Маркус Марци (1595–1667) описал явление призматических цветов. Он поставил призму перед отверстием камер-обскуры и получил на задней стороне камеры спектр, который правильно объяснил тем, что каждому цвету соответствует своя преломляющая способность. Он же показал, что отдельный монохроматический участок в дальнейшем призмой не разлагается. Таким образом, Марци был непосредственным предшественником оптических открытий Ньютона.

В 1665 г. вышло в свет сочинение ученого-иезуита Гримальди (1618– 1663), сыгравшее важную роль в истории оптики. В этом сочинении впервые описано явление дифракции и высказано мнение о волновой природе света. В 1669 г. датский ученый Эразм Бартолин (1625–1698) описал двойное лучепреломление в исландском шпате. Другой датский ученый – Оле Рёмер (1644–1710), работавший в Парижской обсерватории, составляя таблицы затмений спутников Юпитера, обнаружил периодическое запаздывание этих затмений и объяснил их конечностью скорости света. В это же время появилось на латинском языке сочинение Гюйгенса о свете, исправленное автором и переизданное на французском языке в 1690 г. «Трактат о свете» Гюйгенса вошел в историю науки как первое научное сочинение по волновой оптике. В этом «Трактате» сформулирован принцип распространения волны, известный ныне под названием принципа Гюйгенса; на основе этого принципа выведены законы отражения и преломления света, развита теория двойного лучепреломления в исландском шпате, исходя из представлений, что скорость распространения света в кристалле в различных направлениях различна и поэтому форма волновой поверхности будет не сферической, а эллипсоидальной.

Теория распространения и преломления света в одноосных кристаллах – замечательное достижение оптики Гюйгенса. Гюйгенс описал также исчезновение одного из двух лучей при прохождении их через второй кристалл при определенной ориентировке его относительно первого. Таким образом, Гюйгенс был первым физиком, установившим факт поляризации света.

Цветов Гюйгенс в своем трактате не рассматривает, равно как и дифракцию света. Его трактат посвящен только обоснованию отражения и преломления (включая и двойное преломление) с волновой точки зрения. Вероятно, это обстоятельство было причиной того, что теория Гюйгенса, несмотря на поддержку ее в XVIII в. Ломоносовым и Эйлером, не получила признания до тех пор, пока Френель в начале XIX в. не воскресил волновую теорию на новой основе.

Х. Гюйгенс



Христиан Гюйгенс, сын образованного голландского дворянина Константина Гюйгенса, родился 14 апреля 1629 г. Отец преподавал ему начала математики и механики, но решил сделать сына юристом и, когда Христиан достиг шестнадцатилетнего возраста, направил его изучать право в Лейденский университет. Занимаясь в университете юридическими науками, Гюйгенс в то же время увлекался математикой, механикой, астрономией, практической оптикой. Искусный мастер, он самостоятельно шлифовал оптические стекла и усовершенствовал трубу, с помощью которой открыл кольца и спутники Сатурна.

Кольца Сатурна были впервые замечены Галилеем в виде двух боковых придатков, «поддерживающих» Сатурн. Но труба Галилея не обладала необходимой разрешающей способностью и достаточным увеличением. Когда кольца стали видны как тонкая линия, он их не заметил и больше о них не упоминал. Гюйгенс, во всей своей научной деятельности продолжавший дело Галилея, разгадал загадку Сатурна и впервые описал его знаменитые кольца.

Одним из важнейших открытий Гюйгенса было изобретение часов с маятником. Он запатентовал свое изобретение 16 июня 1657 г. и описал его в небольшом сочинении, опубликованном в 1658 г. Теоретические основы своего изобретения Гюйгенс изложил в сочинении «Маятниковые часы» («Horologium oscillatorium»), вышедшем в 1673 г. В этом сочинении Гюйгенс устанавливает, что свойством изохронности обладает циклоида, и разбирает математические свойства циклоиды. Как уже говорилось, маятник Гюйгенса в отличие от галилеевского был циклоидальным.

Исследуя криволинейное движение тяжелой точки, Гюйгенс, продолжая развивать идеи, высказанные еще Галилеем, показывает, что тело при падении с некоторой высоты по различным путям приобретает конечную скорость, не зависящую от формы пути, а зависящую лишь от высоты падения, и может подняться на высоту, равную (в отсутствие сопротивления) начальной высоте. Это положение, выражающее по сути дела закон сохранения энергии для движения в поле тяжести, Гюйгенс использует для теории физического маятника. Он находит выражение для приведенной длины маятника, устанавливает понятие центра качания и его свойства.

Формулу математического маятника для циклоидального движения и малых колебаний кругового маятника он выражает следующим образом. «Время одного малого колебания кругового маятника относится к времени падения по двойной длине маятника, как окружность круга относится к диаметру, откуда следует: $T = 2\pi/(l/g)^{1/2}$ – (в современных

обозначениях).

Существенно, что Гюйгенс в конце своего сочинения дает ряд предложений (без вывода) о центростремительной силе и устанавливает, что центростремительное ускорение пропорционально квадрату скорости и обратно пропорционально радиусу окружности. Этот результат подготовил ньютоновскую теорию движения тел под действием центральных сил.

В 1663 г. Гюйгенс был избран членом Лондонского Королевского общества, а в 1666 г. членом только что организованной Парижской Академии наук. Гюйгенс жил в Париже до 1681 г., когда после отмены Нантского эдикта он, как протестант, вернулся на родину.

Будучи в Париже, он хорошо знал Рёмера и активно помогал ему в наблюдениях, приведших к определению скорости света. Гюйгенс первый сообщил о результатах Рёмера в своем трактате.



Рис.13. Опыт Герике с электрической машиной

Заметим, что скорость света впервые попытался определить Галилей Два наблюдателя, снабженные фонарями с задвижками, располагались в темную ночь на таком расстоянии друг от друга, на каком еще был виден свет фонаря. Когда первый наблюдатель открывал задвижку, второй, увидев свет, открывал свою.

Конечно, этот эксперимент ничего не дал, хотя в принципе метод был совершенно правилен.

Декарт считал, что свет распространяется мгновенно. Этот вывод он обосновал тем, что конечная скорость света неизбежно должна приводить к искажению положения небесных светил. Такая абберрация действительно была обнаружена Джеймсом Брадлеем (1693–1762) в 1728 г. и дала новый метод определения скорости света.

По возвращении на родину Гюйгенс продолжал заниматься оптическими проблемами и изготовлением оптических стекол. Он уделял внимание также космологическим и математическим проблемам. Умер он 8 июля 1695 г. Из механических исследований Гюйгенса, кроме теории маятника и центростремительной силы, известна его теория удара упругих шаров, представленная им на конкурсную задачу, объявленную Лондонским Королевским обществом в 1668 г. Теория удара Гюйгенса опирается на закон сохранения живых сил, количество движения и принцип относительности Галилея. Она была опубликована лишь после его смерти в 1703 г.

Ньютон

Достигнутые опытным естествознанием результаты получили завершение в работах великого английского ученого Исаака Ньютона. Важнейшим научным достижением Ньютона было создание теории движения планет и связанное с этим открытие закона всемирного тяготения, положенного в основу физического обоснования гелиоцентрической системы. Ньютон жил и работал в знаменательную историческую эпоху, оказавшую огромное влияние на дальнейшее историческое развитие Англии и не только Англии. В год

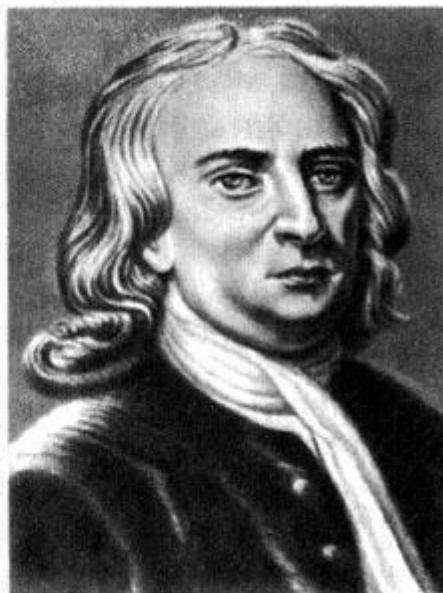
рождения Ньютона началась английская революция, в год поступления Ньютона в Кембридж началась реставрация. В 1688 г. произошла так называемая «Славная революция», т. е. компромисс между борющимися за власть буржуазией и дворянством. В ньютоновскую эпоху Англия сформировалась как крупнейшая морская держава, сломившая морское могущество Испании и Голландии и сделавшая решающий шаг в капиталистическом развитии.

Страна жила напряженной политической жизнью, в ней боролись сторонники самых разнообразных политических идей – от приверженцев абсолютной монархии до идеологов уравнительного коммунизма. Бесконечно разнообразны были религиозные теории – от сторонников католицизма (папистов) и англиканской церкви до крайних пуритан и атеистов. Наконец, это была эпоха расцвета опытной науки, провозглашенной Бэконом, эпоха организации Лондонского Королевского общества, эпоха Бойля, Гука, Галлея.

Ньютон родился 25 декабря 1642 г. старого стиля, т. е. 4 января 1643 г. по новому стилю, в деревушке Вульсторп в графстве Линкольн (Линкольншир), в семье деревенского фермера, умершего незадолго до его рождения. До двенадцатилетнего возраста его воспитывала бабушка. В двенадцать лет Ньютона отдали в городскую школу в Грантаме. По окончании школы он возвратился в родную деревню. Из будущего ученого пытались сделать деревенского фермера. Но юноша не обнаруживал склонности к сельскому хозяйству, и по совету дяди, воспитанника Кембриджского университета, был отправлен обратно в Грантаму для подготовки к поступлению в университет.

По своей структуре университет представлял совокупность отдельных колледжей, каждый из которых был нечто вроде самостоятельной общины. Члены этой общины (феллоу) жили и работали в колледже, образуя замкнутую корпорацию, нечто вроде монашеского ордена. Наиболее бедные члены этой общины – «сабсайзеры», не имевшие возможности платить за свое содержание, обязаны были прислуживать членам колледжа. В качестве «сабсайзера» Ньютон был принят в колледж Святой Троицы (Тринити-колледж) в 1661 г.

И. НЬЮТОН



Одним из учителей Ньютона был профессор Исаак Барроу, занимавший Люкасовскую кафедру, названную так по имени человека, завещавшего средства на ее содержание. Барроу читал лекции по оптике на весьма высоком для того времени уровне (он, например, давал формулы линз для различных частных случаев), и Ньютон с большим интересом и вниманием слушал своего учителя. С ним у Ньютона установились тесные дружеские отношения, и Барроу стал видеть в одаренном ученике своего преемника. Ньютон получил младшую ученую степень бакалавра, затем в 1665 г. – степень магистра. В этом же году разразилась эпидемия чумы, и Ньютон уехал из Кембриджа в деревню, откуда возвратился

осенью 1668 г. В деревне он много и напряженно работал, его будущие великие открытия созревали в деревенском уединении. Немудрено, что через год, в 1669 г., Барроу, решив посвятить себя теологии, передал кафедру своему гениальному ученику. Ньютон стал профессором Кембриджа.

Первая научная работа Ньютона относится к оптике. Еще в 1665 г. он начал исследование призматических цветов. Результатом этого исследования явилось убеждение, что никакими средствами нельзя добиться совершенства оптических приборов с объективами из линз. По его мнению, хроматическая аберрация линз неустранима. Поэтому Ньютон приходит к выводу, что в телескопе надо линзы заменить сферическими зеркалами. В 1668 г. он построил первую миниатюрную модель рефлектора. В 1671 г. Ньютон построил второй усовершенствованный рефлектор, послуживший поводом к избранию его членом Королевского общества.

Прочитанный Ньютоном мемуар об открытиях в оптике вовлек его в полемику с Робертом Гуком (1635-1703), официальным экспериментатором Королевского общества. Гук в докладе, представленном обществу в 1672 г., и в книге «Микрография» становится на точку зрения волновой теории и высказывает мысль о поперечности световых волн.

Гук описывает явления интерференции и дифракции света, но еще недостаточно владеет языком волновой оптики, чтобы использовать эти явления для подтверждения волновой теории, как это сделал через полтора года Френель. Гук ревниво относился к вопросам приоритета и оспаривал его у Ньютона как в оптике, так и в механике. Раздраженный полемикой, Ньютон принял решение ничего не публиковать по оптике до тех пор, пока жив Гук, и выполнил это решение. Кроме первых двух оптических мемуаров, повлекших за собой полемику с Гуком, Ньютон не публиковал ничего до 1704 г., когда была издана его «Оптика».

Вообще Ньютон очень неохотно печатался, возможно и потому, что почти каждая публикация приводила к тяжелым спорам, в том числе и по вопросу приоритета. У Ньютона оспаривали приоритет в изобретении рефлектора, в исследовании цветов тонких пленок, в открытии закона тяготения и изобретении дифференциального и интегрального исчисления, т. е. почти всего, что составляет славу Ньютона. Удивительного в этом неприятном обстоятельстве, принесшем немало огорчений Ньютону, ничего нет. Открытия, сделанные Ньютоном, «носились в воздухе», они относились к актуальным научным проблемам того времени, над которыми размышляло немало ученых, приходя с разных сторон к одинаковым или почти одинаковым выводам. Механика, математика и оптика созрели для завершающих открытий, и Ньютон выполнил эту завершающую работу с исчерпывающей полнотой и гениальностью.

Современники чувствовали величие Ньютона, и все же для одних он остался непонятным, а для других – равноправным членом «республики наук», по выражению М.В.Ломоносова, с которым можно и должно было спорить, не стесняясь в выражениях и обвинениях. Только на отдалении веков стал виден гений Ньютона, возвысивший его над всеми современниками, и стало ясным величие его дела.

Но тягостная полемика с современниками приводила порой Ньютона к решению ничего не публиковать.

Однако поставленные проблемы все же надо было решать. Над проблемой движения планет размышляли многие современники Ньютона. Астроном Галлей понял, что идея Гюйгенса о существовании центростремительной силы позволяет объяснить динамику движения планет, и пытался ее разработать. В ходе работы он встретился с большими трудностями и обратился за консультацией к Ньютону. Ньютон показал ему рукопись, в которой проблема, волновавшая Галлея, была полностью решена. Галлей стал настойчиво убеждать Ньютона опубликовать свой труд. Ньютон долго не соглашался. Только с помощью влиятельных в Кембридже лиц Галлей ему удалось сломить сопротивление Ньютона. Особенно смущала Ньютона третья часть его труда, в которой речь шла о системе мира. «Третью часть я намерен теперь устранить, – писал он, – философия – это такая наглая и

сутяжная дама, что иметь с ней дело – это все равно, что быть вовлеченным в судебную тяжбу». В конце концов знаменитые «Математические начала натуральной философии» Ньютона вышли в свет в 1687 г., спустя 144 года после того, как Коперник опубликовал свою систему мира. Эта система получила динамическое обоснование и стала прочной научной теорией. Одновременно было завершено начатое Галилеем дело создания новой механики.

Три закона Ньютона завершают труды Галилея, Декарта, Гюйгенса и других ученых по созданию классической механики и вместе с тем создают прочную основу для плодотворного ее развития.

Как и предвидел Ньютон, его «Начала», несмотря на трудный и специальный характер изложения, вызвали оживленную дискуссию в первую очередь с картезианцами. Допущение абсолютно пустого пространства и гравитационных сил, действующих на расстоянии через пустоту, породило философские споры. В них оказались заинтересованными и церковники, связывающие эти допущения с таинством евхаристии, при котором якобы происходит чудесное превращение хлеба и вина в тело и кровь Христа. При подготовке второго издания «Начал» кембриджский математик Коте, редактировавший это издание, усилил его антикартезианскую направленность, снабдив его своим предисловием, носящим откровенно теологический характер. Такой же характер носит и «Общее поучение», которым Ньютон заключает второе издание книги. В нем он указывает на несостоятельность картезианской вихревой концепции, описывает, как управляет миром господь бог. Ученый и богослов причудливо переплетаются в поучении Ньютона, научные идеи сочетаются в нем с теологическими бреднями.

Ньютон серьезно интересовался богословскими вопросами. Он был автором «Толкования на книгу пророка Даниила», «Апокалипсиса» и «Хронологии». Его религиозность была резко антикатолической, антипапистской, и такой же характер носили его богословские книги. Если же добавить к этому, что Ньютон глубоко интересовался алхимией и увлекался алхимическими опытами, то мы можем понять, что он был сыном своего времени, когда наука, по выражению Энгельса, еще глубоко увязала в теологии.

Ньютон был сыном своего времени и в отношении к политическим проблемам. Его тревожила католическая и абсолютистская реакция, проявившаяся при Якове II Стюарте, и он принимал активное участие в протесте Кембриджа против этих тенденций.

С приходом к власти Вильгельма Оранского в 1688 г. Ньютон был избран депутатом парламента от Кембриджа. Когда новое правительство стало испытывать финансовый кризис от плохой чеканки обращающейся золотой монеты, которую можно было опиливать и обрезать, делая ее неполноценной, Ньютон со своими друзьями лордом Монтегю и философом Локком участвовал в обсуждении проекта финансовой реформы. Назначенный Смотрителем Монетного двора, Ньютон в короткий срок перечеканил монету, способствовал тем самым оздоровлению финансов страны.

В 1699 г. Ньютон был назначен директором Монетного двора и переехал в Лондон. В 1703 г. он был избран президентом Королевского общества. Обеспеченный материально, окруженный почетом и славой, Ньютон провел в Лондоне последние годы своей жизни. Он умер 21 марта 1727 г., и прах его был торжественно захоронен в Вестминстерском аббатстве.

Научное наследие Ньютона сводится к трем основным областям: математике, механике и астрономии, оптике. В математике Ньютон разделяет с немецким ученым и философом Готфридом Вильгельмом Лейбницем (1646–1716) славу создателя дифференциального и интегрального исчисления.

Мы уже видели, что потребность в создании новой математики, математики переменных величин, была остро насущной. Эта математика постепенно создавалась усилиями ученых различных стран, начиная с Кеплера, Галилея и Декарта. Проблема квадратуры криволинейных площадей и проведение касательных к кривым, проблема максимума и минимума успешно решались для отдельных случаев рядом математиков и физиков. Но только Ньютон и Лейбниц разработали общий метод решения таких задач. Ньютон назвал свой метод исчислением флюксий, именуя этим термином то, что мы ныне

подразумеваем под производной. Саму переменную функцию Ньютон назвал флюентой (текущей), флюксии Ньютон обозначал буквами с точкой наверху. О своем методе Ньютон сообщил в письме Лейбницу, переставив буквы латинской фразы: «Дана флюента, найти флюксию и обратно». Он выписал с соответствующим числовым коэффициентом те буквы, которые встречаются в этом предложении. Зашифрованное таким образом предложение было разгадано Лейбницем, который сообщил в ответ, что он сам владеет подобным же методом. Об этом обмене письмами Ньютон сообщил в одном из примечаний к первому изданию «Начал», указав, что метод Лейбница отличается от его собственного лишь обозначениями. Лейбниц обозначал производные штрихами (y' , y'' и т. д.) или как отношение дифференциалов (dx/dy)

Квадратуру Лейбниц обозначал удлинённой латинской буквой J, т. е. современным знаком интеграла.

Обозначения, введенные Лейбницем, оказались весьма удобными и сохранились до настоящего времени. Что же касается ньютоновских обозначений, то они употребляются в физике для указания производных по времени (x, \dot{x}, \ddot{x}).

Во втором и третьем изданиях «Начал», которые были выпущены при жизни Ньютона, примечание о переписке с Лейбницем было снято. Причиной этому был спор о приоритете, который разделил математиков того времени на два лагеря. Приверженцы одного из них защищали приоритет Ньютона, сторонники другого – Лейбница. Последующие исследования показали, что оба ученых пришли к великому открытию независимо друг от друга. Однако Энгельс был на стороне Лейбница и считал Ньютона плагиатором, так далеко докатились отголоски этого тягостного спора, который пришлось распутывать историкам математики.

Интересно, что в «Началах» Ньютон не пользуется своим методом, а доказывает свои предложения геометрическим способом и с помощью метода предельных отношений. Последний представляет собой дальнейшее развитие метода древних атомистов («метода неделимых»). Ньютон в поучениях к первой книге «Начал» подчеркивает это обстоятельство, разъясняя, что в его методе фигурируют не «неделимые» конечно малые величины, «математические атомы», а бесконечно малые величины, т. е. не y, x, a , а dy, dx . В его разъяснении заключаются современные определения производных и интегралов:

$$\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x}; \quad \int y dx = \lim_{\substack{\Delta x_i \rightarrow 0 \\ i \rightarrow \infty}} \sum y_i \Delta x_i.$$

При обосновании метода пределов Ньютон апеллирует к механическим образам, к представлению о конечной, предельной скорости движения. Так входили в науку новые математические идеи, логическое обоснование которых потребовало усилий многих поколений математиков, вплоть до нашего времени. Идея бесконечности оказалась весьма коварной.

Но Ньютон избежал трудностей. Доказав вспомогательные геометрические леммы методом пределов, он в дальнейшем все предложения доказывал в духе старых геометров и логически безупречно. Однако эта безупречность достигалась за счет громоздкости и сложности доказательств. Последующим математикам пришлось выполнить работу по переводу механики на язык математического анализа.

В 1736 г. вышла «Механика, или Наука о движении, изложенная аналитически Леонардом Эйлером, членом Петербургской Академии наук», в которой были впервые написаны в дифференциальной форме уравнения механики и все математические расчеты велись на языке анализа. В 1788 г., через 100 лет после «Начал» Ньютона, вышла «Аналитическая механика» Лагранжа, в которой, как об этом с гордостью сообщал сам автор, не было ни одного чертежа. Так за 100 лет эволюционизировали математические методы механики.

Роль математики в развитии физики огромна. Современная теоретическая физика – сугубо математическая дисциплина, построенная на сложном математическом аппарате.

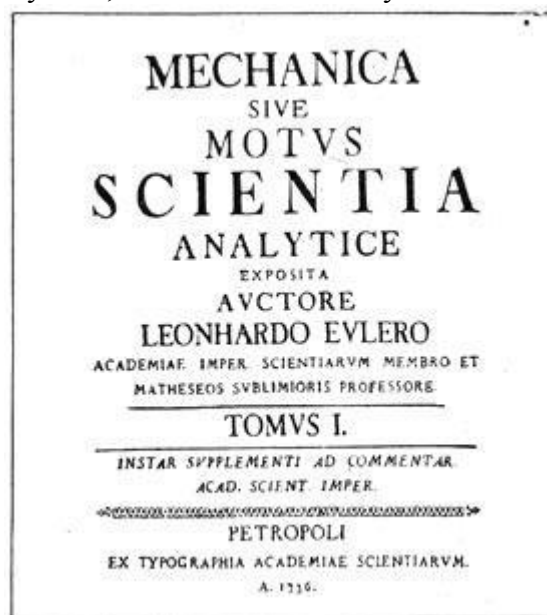
Начало такому развитию теоретической физики было положено Галилеем, Декартом, Ньютоном и Лейбницем, выдающимися физиками и философами XVII столетия, философия активно участвовала в развитии новой науки. Работа, проделанная Бэконом, Декартом, Спинозой, Локком и другими философами XVII в., помогала развитию естествознания.

Естествоиспытатели и философы работали рука об руку над построением фундамента новой науки и нового мировоззрения. Поэтому глубоко не правы те, кто считает, что философия только мешала развитию науки, путаясь у ней в ногах и навязывая ей чуждые догмы. Передовая философская мысль всегда расчищала дорогу науке и, опираясь на достижения науки, сама развивалась и обогащалась. Догматизм, некритическое высокомерие всегда были врагами и науки и философии.

Говоря о математических идеях Ньютона и соотношении философии и естествознания, мы уже перешли тем самым к рассмотрению его знаменитых «Математических начал натуральной философии» Термин «натуральная философия» свидетельствовал о тесной связи науки и философии, которые, как и в эпоху возникновения науки в Древней Греции, работали вместе. Но по существу он означал физику, и в английских университетах физика еще долгое время называлась натуральной философией. Так, в истории науки термин «физика» впервые был употреблен для обозначения книги по философии природы, натуральной философии, а термин «натуральная философия» был использован для книги, излагающей основу классической физики. Однако это забавное историческое обстоятельство имеет вполне серьезный смысл: и Аристотель, и Ньютон смотрели на задачи физики одинаково – как на общую теорию природы. Различие, причем очень существенное, в их взглядах заключалось в методе построения такой теории. Ньютон строил натуральную философию, т. е. теорию природы, на математических и, конечно, экспериментальных началах, тогда как Аристотель принципиально исключал математику и эксперимент как метод познания природы. Победил метод Галилея – Ньютона, приведший физику к тем колоссальным успехам, которые ныне видны каждому, даже человеку, совершенно неискушенному в физике.

Прервем пока рассказ о «Началах» Ньютона и рассмотрим предварительно его открытия в оптике. По свидетельству самого Ньютона, он еще в 1665 г. купил призму, чтобы воспроизвести «знаменитое явление цветов». Призматический спектр был в то время хорошо известен, а призмы изготовлялись на продажу.

Призматическими цветами занимались многие ученые, и Марци, например, понял, что каждому цвету присуща своя преломляемость. Но Ньютон впервые исследовал спектр всесторонне и глубоко, заложив основы научной спектроскопии.



Титульный лист 'Механики' Эйлера

Он правильно понял удлиненную форму спектра, установил со всей определенностью факт различной преломляемости цветных лучей, дальнейшую неразлагаемость монохроматического пучка, выяснил влияние формы щели на чистоту спектра, впервые применил метод скрещенных призм, короче, как было уже сказано, заложил основы спектроскопии.

Получая призматический спектр, мы устанавливаем призму на угол наименьшего отклонения, как это делал Ньютон, регулируем ширину щели, опираясь на его наблюдения о влиянии форм и размеров отверстия на чистоту спектра, скрещиваем спектральные аппараты при изучении аномальной дисперсии, как это сделал впервые Ньютон, еще не знавший аномальной дисперсии.

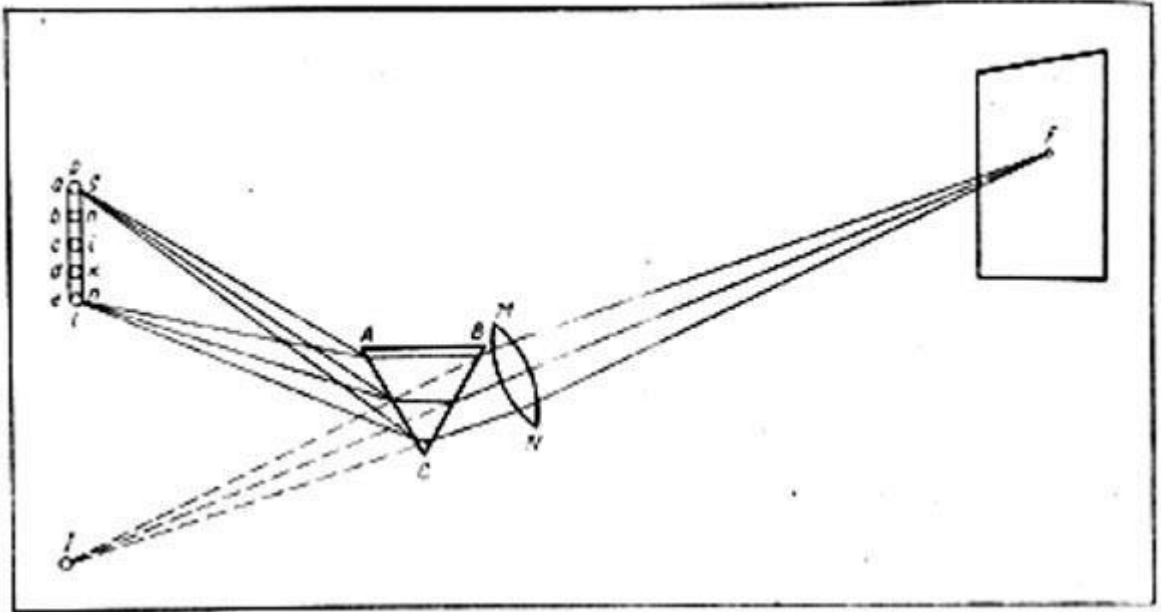


Рис. 15. Опыт Ньютона с солнечным спектром

Основной результат своих спектроскопических исследований Ньютон сформулировал так: «Всякий однородный свет имеет собственную окраску, отвечающую степени его преломляемости, и такая окраска не может изменяться при отражениях и преломлениях».

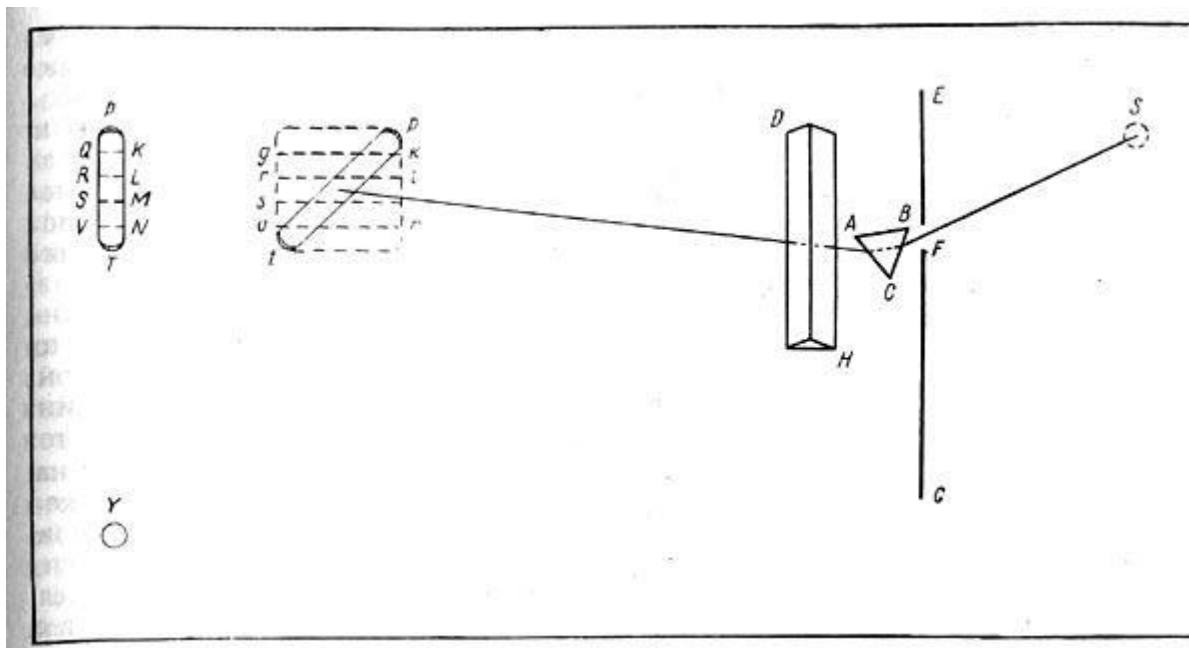
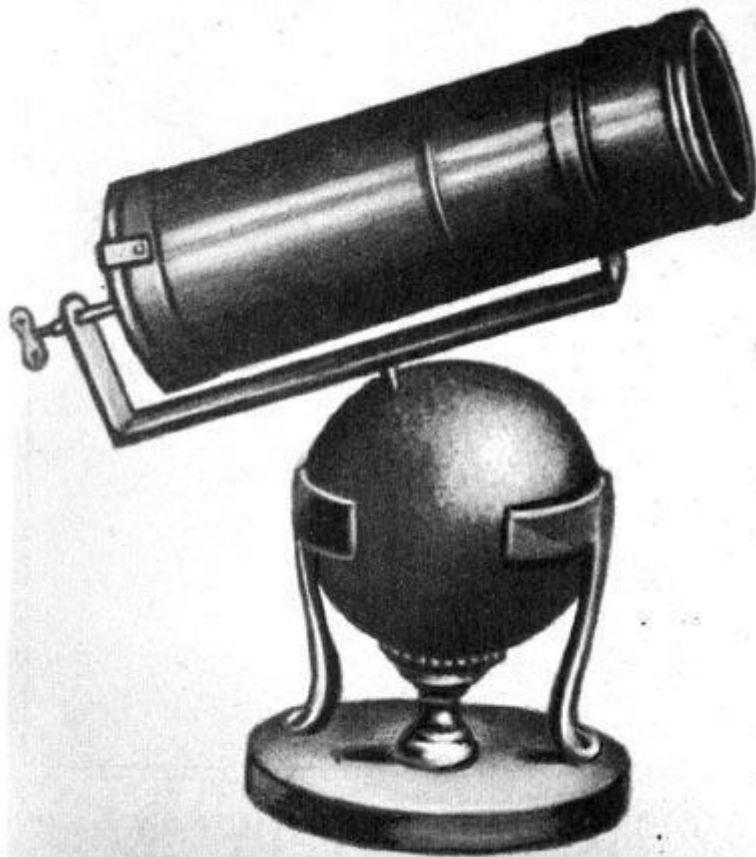


Рис. 16. Метод скрещенных призм Ньютона

Таким образом, по Ньютону, у светового луча имеется объективная, неизменная характеристика (цвет), которую он сохраняет при отражении и преломлении. В другом месте Ньютон указывал, что эта характеристика не может быть изменена какой-либо иной причиной, которую он мог наблюдать.

Ньютон не наблюдал отражения от движущегося зеркала, комбинационного рассеяния, в которых проявляются изменения цветности луча.

Такие квантовые эффекты были обнаружены только в XX в., и до тех пор вывод Ньютона сохранил всю свою силу, как он сохраняет ее и сейчас во всех случаях, когда не происходит энергетических превращений световых квантов.



Как уже упоминалось, из своих исследований Ньютон сделал важный практический вывод о существовании хроматической аберрации, которую он ошибочно считал неустранимой. Им (впрочем, не только им одним) были введены в астрономию телескопы – рефлекторы.

Стеклянные зеркала таких рефлекторов Ньютон сам шлифовал с величайшим терпением и искусством, подробно описывая в «Оптике» процедуру шлифовки. Ньютон работал в оптике и как исследователь, и как практик. Чрезвычайно интересно, что он думал связать с качественной характеристикой света и число, соответствующее этой характеристике, осуществив первый интерференционный спектроскоп, известный под названием «кольца Ньютона».

Ньютон понял, что интерференционные цвета тонких пленок (интерференции света он еще не знал, хотя хорошо понимал сущность волновых явлений) определяются толщиной пленки. Это предположил еще раньше Гук, который запальчиво обвинил Ньютона в плагиате. Но Гук не проверил свою гипотезу и не сделал из нее конкретных выводов.

Ньютон же разработал установку, в которой толщина менялась по простому геометрическому закону, получил на этой установке цветные кольца и открыл важный факт повторяемости цветов при изменении толщины на определенную величину.

Другими словами, Ньютон был первым в мире, открывшим периодичность в световых явлениях. Он установил, что для каждого цвета имеется своя длина, на которую изменяется толщина воздушного клина, когда одно цветное кольцо заменяется другим того же цвета. Она соответствует четверти длины световой волны, по волновым представлениям. Ньютон определил эту величину для всех основных цветов спектра – от красного до фиолетового. Принимая во внимание, что оттенки цвета распознать очень трудно и основные семь цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый – весьма

неопределенные понятия, следует признать, что Ньютон определил длину волны весьма точно. Лишь в красной части спектра у него наблюдаются расхождения с современными данными.

Ньютон исследовал также явление дифракции и, описав достаточно точно радужные полосы на внешних границах тени волоса, не заметил внутренней светлой полосы. Не заметил он и фраунгоферовых линий в солнечном спектре, которые были открыты значительно позже (в 1801 г.) Волластоном и вновь переоткрыты и тщательно описаны фраунгофером. Сыграли ли тут роль недостатки зрения Ньютона или некоторая теоретическая предубежденность (один из «призраков» Бэкона), сказать трудно, фактом остается то, что знаменитый наблюдатель не заметил некоторых важных и интересных фактов. На каком же языке описывал Ньютон открытую им периодичность, если в оптике он не пользовался языком волновой теории и не прибегал к таким понятиям, как длина волны?

Приведем его собственную формулировку из «Оптики».

Предложение XII

«Каждый луч света при своем прохождении через любую преломляющую поверхность приобретает некоторое преходящее строение или состояние, которое при продвижении луча возвращается через равные интервалы и располагает луч при каждом возвращении к легкому прохождению через ближайшую преломляющую поверхность, между же возвращениями—к легкому отражению».

Таким образом, луч света попеременно через равные интервалы находится то в фазе легкого прохождения (Ньютон вместо слова «фаза» употреблял термин «приступ». — Я. К.), то в фазе легкого отражения. Результат его, падения на поверхность определяется тем, в какой фазе он падает — в фазе (или приступе) легкого прохождения или, наоборот, легкого отражения. Эта идея дает ему возможность описать опыт с кольцами и определить интервал между возвращениями в одну и ту же фазу.

Явление периодичности света, с нашей точки зрения, означает, что в описании его играют фундаментальную роль периодические функции, синусоидальные функции времени, пространства, т. е. гармонические волны. Ньютон использовал для описания открытого им явления образ волны, возбуждаемой в преломляющей среде падением светового луча, подобно тому как камень, брошенный в воду, возбуждает в ней водяные волны. Эти волны, приводя в движение частицы преломляющего (или отражающего) тела, распространяются в этой среде подобно звуку и движутся со скоростью, большей скорости света, опережая луч.

Луч, падая на поверхность, либо движется в направлении фазы волны, и тогда он проходит, либо его движение противоположно направлению волнового движения, тогда он отражается. «Следовательно, — заключает Ньютон, — каждый луч попеременно располагается или к легкому отражению или к легкому пропусканию каждым колебанием, обгоняющим его».

Эта модель Ньютона, в которой сочетаются корпускулярные (световой луч) и волновые представления (направляющая волна), предвосхищает будущие идеи де Бройля о волне-пилоте, бегущей с фазовой скоростью, большей скорости частицы и большей скорости света. Вообще на всем протяжении своих оптических исследований, начиная с первых мемуаров и кончая «Оптикой», Ньютон постоянно обсуждает две концепции света: корпускулярную и волновую. Волновая теория ему кажется неспособной справиться с противостоящими ей огромными трудностями.

Во-первых, она не в состоянии объяснить прямолинейное распространение света, волна должна огибать препятствия и загигаться внутрь геометрической тени. Как мы знаем, это действительно и наблюдается. Но Ньютон не заметил светлой полосы внутри тени волоса, а радужные внешние полосы он объяснил действием краев на малых расстояниях.

«Как только луч проходит мимо тела, он идет дальше по прямой».

Гюйгенс объяснил образование геометрической тени тем, что боковые вторичные волны, испускаемые точками волнового фронта, не имеют огибающей и поэтому неэффективны. Но тем самым он отказался от описания дифракции, которая с успехом была

объяснена на основе его принципа Френелем через 130 лет. Гюйгенс далее очень удачно объяснил двойное преломление в одноосном кристалле, но остановился перед объяснением открытого им явления поляризации (употребляя теперешний термин).

Ньютон в своей «Оптике» разбирает это явление и считает, что его можно объяснить, исходя из представления присущей световому лучу полярности. Для волн (имелись в виду продольные волны) о такой полярности говорить нельзя, и, следовательно, волновая теория в этом пункте несостоятельна.

Во-вторых, волновая теория требует допущения среды, в которой распространяется свет. «Против заполнения неба жидкими средами, – говорит Ньютон, – если они только не чрезвычайно разрежены, возникает большое сомнение в связи с правильными и весьма длительными движениями планет и комет по всякого рода путям в небесном пространстве. Ибо отсюда ясно, что небесное пространство лишено всякого заметного сопротивления, а следовательно, и всякой ощутимой материи». «Если же ее (т. е. эту среду или материю. – П. К.) отбросить, то и гипотезы о том, что свет состоит в давлении или движении, распространяющемся через такую среду, отпадают вместе с нею».

Таким образом, Ньютон был первым строгим критиком волновой теории, рассматривающей свет как механические волны в особой среде, которая со времени Гюйгенса стала называться световым эфиром. Мысль же о том, что световые волны могут быть другой, не механической природы, ему, конечно, в то время не могла прийти в голову.

В связи с серьезными трудностями волновой теории Ньютон предлагает обсудить другую концепцию природы света: «Не являются ли лучи света очень малыми телами, испускаемыми светящимися веществами? Ибо такие тела будут проходить через однородные среды без загибания в тень, соответственно природе лучей света. Они могут иметь также различные свойства и способы сохранять эти свойства неизменными при прохождении через различные среды, в чем заключается другое условие лучей света. Прозрачные вещества действуют на лучи света на расстоянии, преломляя, отражая и изгибая их, и взаимно лучи двигают части этих веществ на расстоянии, нагревая их; это действие и противодействие на расстоянии очень похоже на притягательную силу между телами».

Ньютон считает, следовательно, что свет может быть исследован с точки зрения существования дальнедействующих сил. Свет по этой концепции мыслится состоящим из частиц, своеобразных световых атомов, которые могут взаимодействовать с частицами вещества. В «Началах» Ньютон доказывает, что частица, вступая в плотную среду, ускоряется притяжением частиц этой среды. Если тангенциальная составляющая скорости частицы при этом не меняется, то направление ее движения можно определить по закону преломления:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c_2}{c_1},$$

где c_1 – скорость света в первой среде, c_2 – во второй среде. При этом если $i > r$, т. е. луч света идет из менее плотной среды в более плотную, то $c_2 > c_1$, – скорость света в воде или стекле больше, чем в воздухе.

К такому же выводу еще раньше пришел Декарт, но у него речь шла только о механической модели, иллюстрирующей преломление, скорость же света он считал бесконечной. Наоборот, у Гюйгенса закон преломления принимает вид:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c_1}{c_2}$$

и скорость света в воде меньше скорости света в воздухе.

Когда Фуко в 1850 г. показал, что скорость света в воде действительно меньше, чем скорость света в воздухе, то это казалось решающим опровержением корпускулярной теории. На самом деле обе концепции нашли свое место не только в описании света, но и в описании материи на совершенно иной, не классической основе. И Ньютон, как бы предвидя это обстоятельство, избегал высказываться решительно в пользу той или иной концепции.

Только его последователи приписывали ему безоговорочную поддержку корпускулярной теории. Ньютон же как в оптике, так в вопросе о тяготении категорически подчеркивал, что он «не измышляет гипотез», а предполагает оставаться на почве строго установленных фактов и принципов.

При всем различии оптики Ньютона и Гюйгенса у них есть одна существенная общая черта: оба они стремятся описать явление света в рамках механических представлений. Механика лежала в основе физических и философских воззрений XVII в. Декарт, Гюйгенс, Ньютон – все они пытались свести явления природы к явлениям механики. «Было бы желательным вывести из начал механики и остальные явления природы...» – писал Ньютон в предисловии к «Началам», и с этим желанием солидаризировались современные ему физики и философы.

Механические явления были наиболее ясными и наглядными; в изучении этих явлений физика достигла наибольших успехов, и механическое мировоззрение явилось отражением этих успехов. Еще Декарт развивал механическую картину мира. Ньютон заложил новые основы механического мировоззрения, после ожесточенной борьбы вытеснившие картезианские. Эти основы были заложены в его «Математических началах натуральной философии», к рассмотрению которых мы вновь обращаемся.

В «Началах» содержатся определения основных понятий механики, формулировка основных законов механики, известных ныне под именем законов Ньютона, приложения законов механики к теории движения под действием центральных сил и к решению других механических вопросов, обоснование закона всемирного тяготения, открытого Ньютоном, и изложение системы мира, т. е. теории движения планет и спутников на основе закона тяготения. Таким образом, это первый в истории науки систематический курс теоретической механики, включающий и небесную механику. Отдельные результаты предшественников Ньютона, начиная с Галилея, были обобщены и развиты Ньютоном в его гигантском труде. Ньютон завершил работу предыдущих поколений и открыл путь последующим поколениям физиков и механиков.

«Начала» открываются определением количества материи: «Количество материи есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее».

Русский переводчик «Начал» академик А. Н. Крылов вставил в скобках после слов «количество материи» слово «масса», с тем чтобы ослабить впечатление от метафизического и неупотребительного в современных руководствах термина Ньютона. Ньютон вдобавок выражает массу через плотность, определяемую в этих руководствах как раз через массу и объем. Но термин «количество материи» и у Декарта, и у Ньютона имеет вполне определенное содержание. Декарт считает весь мир однородной материей и по большему или меньшему объему материи определяет ее количество. Ньютон, подобно древним атомистам, считает реальными атомы и пустоту. Количество однородных атомов и есть количество материи. Очевидно, оно будет тем больше, чем больше взятый объем и чем плотнее расположены атомы в этом объеме.

Чтобы не было никаких сомнений, Ньютон поясняет свое определение примерами воздуха, порошка, снега, количество материи которых увеличивается, если их сжать; «При этом, – добавляет Ньютон, – я не принимаю в расчет той среды, если таковая существует, которая свободно проникает в промежуток между частицами».

Таким образом, определение количества материи у Ньютона опирается на атомистику и соответствует определенному строю физического мышления. Самое же главное, что эта

величина доступна измерению. Количество материи определяется по весу тела, оно пропорционально весу тела, «что мною найдено опытами над маятниками, произведенными точнейшим образом...».

Тысячелетняя практика использования весов для измерения количества вещества, массы вещества обобщается Ньютоном и анализируется экспериментально. Он наблюдал качания маятников одинаковых длин, но с разными грузами: свинцовым, золотым, деревянным, ртутью и т. д. У всех этих маятников периоды совпадали.

Но еще Галилей показал, что движение маятника – это не свободное падение его груза. Все тела в отсутствие сопротивления воздуха падают одинаково. Ньютон проверил экспериментально утверждение Галилея, поместив в трубку перышко, кусок свинца и пробку. Откачав из трубки воздух, он убедился, что различные тела в безвоздушном пространстве падают с одинаковой скоростью, а маятники качаются с одинаковым периодом независимо от веса груза.

Тем самым Ньютон подтвердил точным опытом независимость ускорения силы тяжести от массы тела. Масса и вес строго пропорциональны друг другу. Эту зависимость Ньютон использовал для практического измерения масс или количества вещества.

Ньютон, открывший закон тяготения, ясно понимал, что вес – случайное, переменное воздействие на тело, и поэтому считал необходимым установить и другую, внутреннюю характеристику тела – инерцию. (*В современных школьных учебниках эту характеристику называют инертностью. Ньютон этого термина не знал и всюду говорил об инерции.*) Ей он посвящает третье определение своей книги: «Врожденная сила материи есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоставлено самому себе, удерживает свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения». «Эта сила, – добавляет Ньютон, – всегда пропорциональна массе и если отличается от инерции массы, то разве только воззрением на нее».

Масса как мера инерции сохранилась в современных учебниках физики, и ее по-прежнему, как и у Ньютона, измеряют с помощью весов. Там, где господствует невесомость, массу можно измерять по инерции, и в этом смысле измерение инерции есть самый общий способ измерения массы. Вместе с тем инерция и весомость – это различные физические понятия. То, что они пропорциональны друг другу, очень удобно для практических целей, но это совершенно необъяснимое явление. Галилей и Ньютон установили этот факт. Ньютон широко использовал его для измерения масс, физики последующих поколений также измеряли массы весами. Лишь Эйнштейн выяснил глубокое значение этого факта.

Введя понятие массы, Ньютон дал точную, измеряемую механическую характеристику тела. До Ньютона такой ясной характеристики не было, механика еще не владела полностью этим фундаментальным понятием. Заслуга Ньютона состоит в том, что он ввел во всеобщее употребление понятие массы и указал способы ее измерения.

Ньютон ввел и второе фундаментальное понятие механики: количество движения, определив его как меру движения, пропорциональную массе и скорости (II определение «Начал»). Выражением «количество движения» пользовался еще и Декарт, но он не понял векторного характера этой величины и, применяя ее к теории удара, допустил грубые ошибки. Ньютон знал векторный характер скорости и, пользуясь на практике своим определением, всегда учитывал направление движения, формулируя правило параллелограмма скоростей.

Однако термин «количество движения», как показала история науки, был явно неудачным. (*Это, однако, не помешало ему удержаться в науке вплоть до наших дней, аналогично другому неудачному термину - «лошадиная сила». Сегодня термин «количество движения» заменен термином «импульс».*) Дело в том, что было совершенно неясно, чем же измерять движение. Декарт предложил измерять его произведением массы на скорость и высказал закон сохранения движения в форме сохранения общего количества движения. За год до выхода «Начал», в 1686 г., Лейбниц опубликовал статью под заглавием «Краткое

доказательство ошибки достопамятного Декарта и других касательно закона природы, благодаря которому бог желает сохранять всегда количество движения тем же». Лейбниц указывал, что в явлениях природы сохраняется и другая мера движения. Так, если падающий груз производит деформирующее действие (таким способом Галилей измерял скорости падения), то это действие пропорционально высоте падения и, следовательно, квадрату скорости, а так как оно к тому же пропорционально и массе падающего тела, то движение, сообщенное деформированному телу, пропорционально произведению массы на квадрат скорости.

Эту величину Лейбниц позже назвал «живой силой», отличая ее от «мертвой силы», силы давления неподвижного груза.

Что величина mv^2 сохраняется, было ясно еще Гюйгенсу, который опирался на закон сохранения величины mv^2 в своей теории упругого удара и в теории маятника. Этот же факт хорошо знал и Ньютон, дополняя выводы Гюйгенса установлением теоремы живых сил для движения под действием центральной силы. Эту теорему Ньютон доказывал геометрически, изображая графически зависимость силы от пути, пройденного движущейся точкой. Он доказывал, что квадрат скорости движения будет пропорционален площади кривой, ограниченной графиком силы, осью расстояния, начальной и конечной ординатой (начальной и конечной скоростью), т. е.

$$v^2 \sim \int_{r_0}^r f(r) dr,$$

где $f(r)$ - модуль действующей силы. И тем не менее Ньютон принимает в качестве «количества движения» величину mv . К этому его вынуждает динамика. Ньютон вводит в науку важное понятие силы. Контактные силы: мышечные усилия, удар, давление – хорошо известны из практики, и их введение в науку оправдано. Но Ньютон дает новое определение силы (определение IV «Начал») как действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Такое действие может быть произведено не только при контакте, но и на расстоянии некоторым силовым центром. Действие, производимое силовым центром, Ньютон называет центростремительной силой (независимо от того, притягивается или отталкивается тело от центра) и определяет ее следующим образом (определение V «Начал»): «Центростремительная сила есть та, с которой тела к некоторой точке как к центру отовсюду притягиваются, гонятся или как бы то ни было стремятся».

Центростремительная сила определяется, во-первых, мощностью или интенсивностью самого силового центра (например, массой Земли или Солнца, магнитной массой полюса магнита и т. д.). Эту мощность Ньютон называет абсолютной величиной центростремительной силы.

Во-вторых, она определяется ускорением, получаемым телом под действием силы. Это ускорение Ньютон называет ускорительной величиной центростремительной силы.

В-третьих, она определяется изменением количества движения за единицу времени. Эту скорость изменения количества движения Ньютон называет движущей величиной центростремительной силы.

Эти три фактора, определяющие действие центростремительной силы, которые Ньютон ясно отличает друг от друга, и поныне являются основными характеристиками силового поля. То, что Ньютон называет абсолютной величиной центростремительной силы, мы называем зарядом (электрическим, магнитным, гравитационным и т. д.). В XIX в. говорили о «массах» (электрических, магнитных, гравитационных).

Ньютоновская «ускорительная величина» центростремительной силы – это

современная напряженность силового поля, а движущая величина центростремительной силы называется в настоящее время пондеромоторной силой.

Из этих определений центростремительной силы (определения V–VIII) видно, что Ньютон хорошо представлял картину силового поля вокруг «источника ее (т. е. силы. – П. К.) распространения из центра в окружающее ее пространство» и выработал точные характеристики, с помощью которых описывают это поле и поныне. Важнейшую роль в этих характеристиках играет скорость изменения количества движения тела. Ньютон понял фундаментальное значение понятия количества движения для динамики: быстротой изменения этой величины определяется действие силы, и поэтому положил ее в основу всей динамики. Развитие науки подтвердило правильность выбора, сделанного Ньютоном, и современная наука лишь перестала употреблять его термин «количество движения», заменив его коротким словом «импульс». Количество движения Ньютона – это динамическая характеристика движения.

Что же касается лейбницевской «живой силы», то она, как мы теперь знаем, является энергетической характеристикой движения и равна кинетической энергии $\sim mv^2$ движущейся точки.

Обе меры необходимы и полезны и с успехом «работают» в современной науке. Но до установления закона сохранения и превращения энергии такая двузначность «меры движения» вызывала путаницу и разногласие, физики разделились на сторонников Декарта и сторонников Лейбница в отношении меры движения, и шумные споры между ними не утихали.

Еще в 1758 г. Ломоносов писал-«...Самые первые начала механики а тем самым и физики, еще спорны и что наиболее выдающиеся ученые нашего века не могут прийти к соглашению о них. Самый явный пример этого—мера сил движения, которую одни принимают в простом, другие – в двойном отношении скорости».

В 1743 г. вышла «Динамика» французского энциклопедиста Жана Даламбера (1717–1783). Даламбер разъясняет в предисловии к своему сочинению эквивалентность двух мер. Когда тело, обладающее некоторой скоростью, начинает тормозиться под действием силы, то выбор меры исчезнувшего движения определяется постановкой задачи. Если нам дано время торможения, то тормозящая сила определяется количеством движения mv . Если же нам дан путь торможения, то она находится из $(mv^2)/2$

Этим простым замечанием Даламбер охладил разгоряченные головы, и споры о двух мерах движения мало-помалу затихли. Но, повторяем, истинная суть двух мер движения выяснилась только в результате открытия закона сохранения энергии, и Энгельс в «Диалектике природы», вернувшись к истории знаменитого спора, вскрыл его глубокую методологическую сущность.

Итак, Ньютон ввел в механику фундаментальные понятия: массы, силы, количества движения (импульса). Но для построения механики нужно было ещё одно важное понятие: система отсчета. Разговор о движении беспредметен, если не указана система отсчета.

Ньютон хорошо понимал это обстоятельство, поэтому он заключает раздел определений «Поучением», в котором останавливается на понятиях пространства и времени.

Ньютону был известен принцип относительности Галилея, который он сформулировал в виде одного из основных следствий законов механики: «Относительные движения друг по отношению к другу тел, заключенных в каком-либо пространстве, одинаковы, покоится ли это пространство или движется равномерно и прямолинейно без вращения». В другом месте Ньютон утверждает: «Может оказаться, что в действительности не существует покоящегося тела, к которому можно было бы относить места и движения прочих», и, таким образом, он считает, что наблюдаемые нами движения относительны и абсолютного движения не существует. Но он знает также, что ускоренное движение системы отсчета проявляется динамически, вызывая явление инерции.

Так, поверхность воды во вращающемся ведре будет не плоскостью, а параболоидом вращения. Поэтому Ньютон принимает, что в природе существует абсолютный покой,

абсолютно неподвижная система отсчета. Это пустое однородное неподвижное пространство атомистов и Евклида – чистоеместилище всех вещей. Существенно, что наряду с абсолютным пространством Ньютон признает и абсолютное время, текущее само по себе, безотносительно к каким-либо процессам. Вот как он определяет абсолютное и относительное время и пространство.

«I. Абсолютное, истинное математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью.

Относительное, кажущееся, или обыденное, время есть или точная, или изменчивая, постигаемая чувствами, внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени, как-то: час, день, месяц, год».

Наше измерение времени как несовершенное, повседневное (от зари до зари), так и точное, астрономическое дает нам относительное, или обыденное, время, основанное на наблюдаемых нами движениях. Эти движения, даже вращение Земли, могут быть не вполне равномерными, в то время как истинное математическое время течет само по себе абсолютно равномерно. Постигая относительное время, конструируя все более и более точные часы, мы имеем в виду недостижимый идеал, истинное, абсолютное время.

«II. Абсолютное пространство по самой своей сущности безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным.

Относительное есть его мера или какая-либо ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел и которое в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное: так, например, протяжение пространства подземного воздуха или надземного, определяемых по их положению относительно Земли...»

«III. Место есть часть пространства, занимаемого телом, и по отношению к пространству бывает или абсолютным, или относительным...»

«IV. Абсолютное движение есть перемещение тела из одного абсолютного его места в другое, относительное – из относительного в относительное же».

Задача натуральной философии, по Ньютону, и состоит в том, чтобы распознать истинные, абсолютные движения и изучать их законы. Хотя на практике мы познаем кажущиеся относительные движения, мы можем по ним находить истинные движения и их причины. В качестве примера Ньютон приводит свой знаменитый опыт с вращающимся ведром. Если подвесить ведро с водой на веревке к потолку и, закрутив предварительно веревку, отпустить сосуд, предоставив веревке возможность раскручиваться, то стенки ведра начинают вращаться вместе с веревкой. Вода же сразу не увлекается движением, и ее поверхность сначала плоская, т. е. вода находится в сильном относительном вращении по отношению к ведру, и это относительное вращение не сказывается на ее состоянии. По мере вовлечения воды во вращение поверхность ее деформируется. Наибольшая деформация будет наблюдаться, когда скорость вращения воды относительно стенок ведра будет равна нулю. В этот момент абсолютное движение воды будет наибольшим. Ньютон заключает отсюда и возможность обнаружения вращательного движения в абсолютном пустом пространстве. Ускорение в механике Ньютона носит абсолютный характер.

Концепция абсолютного пространства–времени, оторванного от материальных тел и реальных процессов, – метафизична. Не случайно Ньютон связывает свои представления об абсолютном пространстве с божеством. Один из современников Ньютона в своем дневнике писал, что Ньютон, подготавливая новое издание «Оптики», предлагал включить в него вопрос: «Чем наполнено пространство, свободное от тел?» Ньютон считал, что оно наполнено богом. Бог, по Ньютону, присутствует как в пространстве, свободном от тел, так и там, где имеются тела.

Спрашивается: при чем же здесь физика? Почему до Эйнштейна физики не критиковали божество – метафизическую концепцию абсолютного, пустого, неподвижного,

однородного пространства, а молчаливо соглашались с ней? Потому, что эта математическая абстракция хорошо соответствовала принципам евклидовой геометрии.

Эти евклидовы представления настолько укоренились в умах людей, что геометрия Лобачевского казалась нелепостью даже для его современников – ученых-академиков.

Что же касается бога, то хорошо известно, что верующий человек может припутать бога к любому обстоятельству, и нет ничего удивительного в том, что религиозный Ньютон считал пространство «чувствилицем бога». Важно, что основой классической физики были законы, установленные Ньютоном для движения тел в абсолютном евклидовом пространстве.

По принципу относительности это пространство представлялось любой системой отсчета, в которой не проявляется ощутимым образом действие инерционных сил.

Приведем формулировку законов Ньютона в том виде, в каком они были сформулированы им самим, и в переводе на русский язык, сделанном академиком А. Н. Крыловым.

Axiomata sive leges motus Lex I

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.

Lex II

Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Lex III

Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.

Перевод.

Аксиомы или законы движения

Закон I

Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние.

Закон II

Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует.

Закон III

Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны.

«Математические начала натуральной философии» – книга, вошедшая в золотой фонд науки. Законы Ньютона в течение веков заучивались в авторской формулировке. Так, в одном из русских учебников физики для гимназии законы Ньютона даны в оригинальной латинской формулировке без перевода. Этот учебник вышел в 1915 г., т. е. всего за два года до Октябрьской революции, спустя два года после создания квантовой модели атома Бора и спустя десять лет после создания Эйнштейном специальной теории относительности. Как видим, еще в то время считалось обязательным для учащихся гимназий знание подлинного текста законов Ньютона. Так было почти во всех школах мира. Поколения людей воспитывались на законах Ньютона, которые казались незыблемым фундаментом научного познания природы. Имея в виду их огромное историческое значение, мы и привели выше их точную авторскую формулировку.

Законы Ньютона комментировались и разъяснялись неоднократно, поэтому мы останавливаться на них не будем. Подчеркнем только, как это делает и сам Ньютон, роль третьего закона. Здесь впервые в механике Ньютона появляется слово «взаимодействие». Сила – это взаимодействие между телами.

Из математического выражения силы и третьего закона Ньютон выводит закон сохранения импульса для замкнутой системы и закон сохранения движения центра тяжести: «...По отношению к центру тяжести системы нескольких тел имеет место тот же самый закон сохранения состояния покоя или равномерного и прямолинейного движения, как и для одного тела. Таким образом, поступательное количество движения отдельного ли тела или системы тел надо всегда рассчитывать по движению центра тяжести их».

Так как по второму закону действие силы определяется только изменением количества движения тела и не зависит от наличия других сил или состояния движения тел, то Ньютон в качестве следствия закона формулирует принцип суперпозиции в виде правила параллелограмма сил. Тем самым он мимоходом дополняет и статику, обосновывая действие рычага, наклонной плоскости и других статических машин.

Чтобы яснее себе представить вклад, внесенный Ньютоном в развитие механики, сопоставим три его закона с тремя законами, данными Гюйгенсом в его сочинении «Маятниковые часы», вышедшем за 14 лет до «Начал». Гюйгенс называет свои законы не аксиомами, как Ньютон, а гипотезами и формулирует их следующим образом:

I. Если бы веса не было и воздух не сопротивлялся движению тел, то каждое из них продолжало бы достигнутое движение прямолинейно и с постоянной скоростью.

II. Однако благодаря действию веса, причину которого мы не рассматриваем, случается, что тела производят сложное движение, составленное из равномерного движения в том или ином направлении, и из движения, вызванного весом и направленного по вертикали вниз.

III. Эти два движения можно рассматривать отдельно, и каждое из них не влияет на другое». Как видим, гипотезы Гюйгенса значительно ближе к принципам, сформулированным Галилеем в 1638 г., чем к аксиомам Ньютона.

Стержнем ньютоновской динамики является понятие силы, а основная задача динамики сводится к установлению закона силы из данного движения и, обратно, определению закона движения тел по данной силе. Так, из законов Кеплера Ньютон вывел существование силы, направленной к Солнцу и обратно пропорциональной квадрату расстояния планет от Солнца. Тем самым Ньютон решил задачу физического обоснования системы Коперника. Одновременно он открыл существование в природе силы, которая обуславливает притяжение тел, в том числе и Луны к Земле, и притяжение самой Земли, как и других планет, к Солнцу, т. е. силу всемирного тяготения.

Еще Кеплер, размышляя над природой силы, заставляющей двигаться планеты вокруг Солнца, пришел к выводу, что они увлекаются Солнцем. Солнце, вращаясь вокруг своей оси, увлекает за собой планеты, подобно тому как водоворот кружит попавшие в него тела. Кеплера не смущало то обстоятельство, что планеты имеют разные периоды обращения вокруг Солнца. В то же время Кеплер предполагал, что причина взаимного притяжения тел подобна притяжению магнитом куска железа. Такой силой Кеплер объяснил приливы, приписывая их притяжению вод океана Луной. Два камня, изолированные во Вселенной от влияния всех других тел, по Кеплеру, «стремились бы соединиться друг с другом, подобно двум магнитам».

Несмотря на фантастичность многих рассуждений Кеплера, он сделал важный шаг в сторону отхода от аристотелевской концепции тяготения как естественного стремления всех тел к центру мира. Декарт в своих космогонических теориях окончательно порывает с этой концепцией и считает тяготение результатом вихревых движений мировой материи. Гюйгенс, разделяя позицию Декарта, иллюстрирует природу тяготения опытом с вращающейся жидкостью, в которой взвешены частицы. Отброшенные сначала к стенкам сосуда, они потом устремляются к центру. Это явление наблюдал каждый, помешивающий чай в стакане; по окончании помешивания частички устремляются к центру по дну стакана. Поведение частиц чая в стакане объяснил Эйнштейн в одной из своих заметок, по-видимому, не подозревая, что касается вопроса, поднятого Гюйгенсом для объяснения природы тяготения.

Но вихревая концепция тяготения, хотя и давала красивую модель, не помогала точному описанию движения небесных светил.

С течением времени выкристаллизовалась идея силы, с которой Солнце действует на планеты и планеты на своих спутников. Так, один из членов флорентийской Академии опыта – Борелли (1608-1679), разбирая в 1666 г. теорию движения спутников Юпитера, писал: «Предположим, что планета стремится к Солнцу и в то же время своим круговым движением удаляется от этого центрального тела, лежащего в середине круга. Если обе эти противоположные силы равны между собой, то они должны уравновеситься – планета не будет в состоянии ни приблизиться к Солнцу, ни отойти от него дальше известных пределов и в таком равновесии будет продолжать свое обращение около Солнца».

Борелли не знал, что в это же время молодой Ньютон уже рассчитал математически эту идею и описал движение Луны вокруг Земли. Затем, в 1673 г., Гюйгенс дал закон центростремительной силы, а в следующем, 1674 г. Гук набросал схему картины мира, в которой «все небесные тела имеют притяжение, или силу тяготения, к своему центру». Закон зависимости этой силы от расстояния до центра Гук определить еще не сумел.

Только Ньютон облек все эти сырые, незавершенные идеи в точную форму математического закона. Гипотеза, что силовой центр действует с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния от него, вполне естественна и по существу высказана Ньютоном еще в его оптическом мемуаре 1675 г. Как освещение, создаваемое точечным источником, убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от источника, так и действие силового центра, распространяясь на все большую и большую поверхность, ослабевает обратно пропорционально квадрату расстояния от центра. Эта гипотеза подсказывалась геометрией. Поэтому, размышляя о движении Луны, Ньютон сделал предположение, что Луна падает на Землю, как и камень, но с ускорением, во столько раз меньшим ускорения падения камня, во сколько раз квадрат земного радиуса меньше квадрата расстояния от центра Луны до центра Земли.

«Луна тяготеет к Земле и силою тяготения постоянно отклоняется от прямолинейного движения и удерживается на своей орбите».

Это предположение, сформулированное им в «Началах», Ньютон подтверждает расчетами. Пользуясь формулой центростремительного ускорения, данной Гюйгенсом, и астрономическими и геодезическими данными, Ньютон показывает, что центростремительное ускорение Луны в 3600 раз меньше ускорения падения камня. А так как расстояние от центра Земли до центра Луны в среднем в 60 раз больше радиуса Земли, то можно предположить, что Луна также притягивается к Земле, как и камень, но сила притяжения убывает обратно пропорционально квадрату расстояния. «Сила, с которою Луна удерживается на своей орбите, направлена к Земле и обратно пропорциональна квадратам расстояний мест до центра Земли».

Из законов Кеплера Ньютон сделал важный вывод: «Силы, которыми главные планеты постоянно отклоняются от прямолинейного движения и удерживаются на своих орбитах, направлены к Солнцу и обратно пропорциональны квадратам расстояний до центра его».

В «Поучении» к предложениям о законе притяжения Луны к Земле и планет к Солнцу Ньютон указывает, что если бы вокруг Земли вращалось несколько лун, то все бы они двигались под действием аналогичной силы и их движение подчинялось бы законам Кеплера. «Если бы наинизшая из этих лун была малой и почти что касалась бы вершин высочайших гор, то центростремительная сила, которою она удерживалась бы на своей орбите, равнялась бы приблизительно силе тяжести на вершине этих гор; если бы этот спутничек лишить его поступательного движения по орбите, то вследствие отсутствия центробежной силы, от которой он продолжал оставаться на своей орбите, он под действием предыдущей стал бы падать на Землю и притом с такой же скоростью, с какою на вершинах этих гор падают тяжелые тела...»

Это рассуждение Ньютона показывает, какой огромный шаг сделала человеческая мысль в познании мироздания. Еще живы перипатетические традиции, над учением

Коперника тяготееет запрещение церкви, а Ньютон уже разбирает динамику искусственных спутников Земли («спутничков»). Его мысленный эксперимент реализовали советские ученые, запустив 4 октября 1957 г. первый в мире искусственный спутник Земли.

От Земли и Луны Ньютон обращается к планетам. Он приходит к выводу, что тяготение существует на всех планетах, и по третьему закону «Юпитер тяготееет ко всем своим спутникам, Сатурн к своим, Земля к Луне, Солнце ко всем главным планетам». При этом «тяготение, направляющееся к любой из планет, обратно пропорционально квадрату расстояний мест до центра ее». Такая формулировка, в которой вместо «тел» фигурирует «место», свидетельствует, что Ньютон, говоря о тяготении, имеет в виду то, что мы сегодня называем полем тяготения. Поле тяготения определяется массой планеты: «Все тела тяготеют к каждой отдельной планете, и веса тел на всякой планете при одинаковых расстояниях от ее центра пропорциональны массам этих планет».

Этим предложением Ньютон наносит решающий удар перипатетической концепции веса как естественного стремления тел к центру мироздания, находящемуся в центре Земли. Каждая планета создает свое поле тяготения, и «природа тяжести на других планетах такова же, как и на Земле». Особенно важен факт независимости времени падения тяжелых тел от массы, установленный Галилеем. Ньютон считал необходимым проверить этот факт «точнейшим образом» по «равенству времени качаний маятников». «Я произвел такое испытание, – пишет Ньютон, – для золота, серебра, свинца, стекла, песка, обыкновенной соли, дерева, воды, пшеницы. Я заготовил две круглые деревянные кадочки, равные между собою; одну из них я заполнил деревом, в другой же я поместил такой же точно груз из золота (насколько мог точно) – в центре качаний. Кадочки, подвешенные на равных нитях 11 футов длиной, образовали два маятника, совершенно одинаковые по весу, форме и сопротивлению воздуха; будучи помещены рядом, они при равных качаниях шли взад и вперед вместе в продолжение весьма долгого времени.... Следовательно, количество вещества в золоте относилось к количеству вещества в дереве, как действие движущей силы на все золото к ее действию на все дерево, т. е. как вес одного к весу другого. То же самое было и для прочих тел. Для тел одинакового веса разность количеств веществ (масс), даже меньшая одной тысячной доли полной массы, могла бы быть с ясностью обнаружена этими опытами»

Ньютон понял важность точного установления факта пропорциональности массы и веса. После открытия им закона тяготения масса становится характеристикой не только инертности тел, но и их гравитации. Опыты Ньютона показали, что гравитационная и инертная массы равны с точностью до 0,001. Последующие эксперименты доказали это равенство с еще более высокой степенью точности. Этот факт положен Эйнштейном в основу его теории тяготения. Он, как видим, сыграл фундаментальную роль и в открытии закона тяготения.

«Тяготение существует ко всем телам вообще и пропорционально массе каждого из них» (предложение VII).

«...Тяготение ко всей планете происходит и слагается из тяготений к отдельным частям ее...» (следствие 1).

«Тяготение к отдельным равным частицам тел обратно пропорционально квадратам расстояний мест до частиц» (следствие 2).

Так формулирует Ньютон свой знаменитый закон, который мы ныне выражаем компактной формулой;

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Этим законом Ньютон дал точную динамическую основу системе Коперника и всей небесной механике, которая, развиваясь на этой основе, добилась огромных успехов.

Выражение «астрономическая точность» стало синонимом непревзойденной точности научного предвидения. Открытие в XIX в. планеты Нептун Леверье и Адамсом «на кончике

пера» явилось потрясающим триумфом теории Ньютона. Сегодняшние достижения космонавтики, выведшие человека в космос, представляют новый блестящий успех ньютоновской теории. Закон всемирного тяготения подтвердился в этих достижениях с поразительной точностью.

Закон тяготения породил и длительные философские дискуссии, переходящие в богословские. В физике это были дискуссии о природе действия на расстоянии, споры между сторонниками Ньютона и Декарта. Они начались еще при жизни Ньютона. Когда в 1713 г. вышло второе издание «Начал», то редактор этого издания, молодой кембриджский астроном Роджер Коте постарался придать новому изданию воинствующий антикартезианский и антиматериалистический характер. Он снабдил издание своим обширным предисловием, излагающим методологические основы того направления, которое получило в истории науки название ньютоновского.

В своем предисловии Коте указывал на три основных методологических направления в современной ему науке: берущее свое начало от Аристотеля перипатетическое, картезианское и ньютоновское. Лет через сорок после Котса Ломоносов также соединит эти три направления, предупреждая, чтобы его самого «за Аристотеля, Картезия и Ньютона не почитали», утверждая тем самым не только оригинальность и самобытность своего научного мышления, но и наличие в современной ему науке трех главных направлений, названных им по именам лидеров.

Может возникнуть сомнение в живучести перипатетической концепции «скрытых качеств» и вообще схоластической традиции. Однако уходящая в прошлое перипатетическая методология далеко еще не сошла с арены во времена Ньютона и Ломоносова. Ломоносов справедливо усматривал в идее теплорода «элементарный огонь Аристотеля», а «скрытые качества» существовали еще и в физике XIX в.

Коте в своем предисловии быстро расправляется с перипатетиками, заверяя, что они «в сущности ничему не учат», и сосредоточивает весь огонь своей критики на картезианцах, которых обвиняет в том, что они «предаются фантазиям», придумывая всевозможные неощутимые жидкости и скрытые движения. Изложив основные положения теории Ньютона, согласно которой «Земля и Солнце и все небесные тела, сопровождающие Солнце, взаимно притягиваются» и «отдельные мельчайшие частицы обладают... притягательными силами, пропорциональными их массам» и обратно пропорциональными квадратам расстояний, Коте указывает, что эта теория («философия») строится на наблюдении и опыте, а не на произвольных гипотезах. Тем самым она обладает преимуществом по сравнению с картезианской теорией, так как основана на опыте и согласуется с опытом же.

Гипотетический "элемент, по мнению Котса, из нее исключается начисто. Но остается все-таки основной вопрос: что такое тяготение и вообще центральная⁴ сила, действующая на расстоянии? Не являются ли они такими же скрытыми качествами, как и скрытые качества перипатетиков?

Котс возражает: «Тяготение не есть скрытая причина движения небесных тел, ибо явления показывают, что эта причина существует на самом деле» – и тут же переходит в наступление: «Правильнее признать, что к скрытым причинам прибегают те, кто законы этих движений приписывает неведомо каким вихрям некоторой чисто воображаемой материи, совершенно не постижимой чувствами».

Вопрос о причине тяготения не имеет смысла. «Причины идут неразрывной цепью от сложнейших к простейшим, и когда достигли до причины самой простой, то далее идти некуда». Такой «самой простой» причиной и является тяготение, точный закон которого найден Ньютоном. Тем не менее Коте считает необходимым посвятить немало места в своем предисловии опровержению концепции эфира и его вихревых движений. Коте справедливо указывает, что «присутствие этого эфира ничем не проявляется», но он не ограничивается этим научным аргументом, а бьет наотмашь, говоря, что картезианцев «надо причислять к отребью того нечестивого стада, которое думает, что мир управляется роком, а не провидением, и что материя в силу своей собственной необходимости всегда и везде

существовала, что она бесконечна и вечна». В этом гвоздь вопроса. Пустое пространство, дальнедействующие силы и первичный толчок (начальные условия) устраивали богословов, стремление же последовательных материалистов «найти истинные начала физики и истинные законы природы единственно силою своего ума» означает, «что философия должна основываться на безбожии». «Ради таких людей, – сердито замечает Коте, – не стоит портить философию». Что же касается редактируемого им сочинения Ньютона, то Коте утверждает в качестве конечного вывода: «Поэтому превосходнейшее сочинение Ньютона представляет вернейшую защиту против нападок безбожников, и нигде не найти лучшего оружия против нечестивой шайки, как в этом колчане».

Ради этого вывода и было написано большое предисловие Котса, с благословения и при активной поддержке начальника Тринити-колледжа епископа Бентли, уже использовавшего, как на это указывалось в предисловии Котса, в своих выступлениях против атеистов теорию Ньютона.

Какова же была позиция самого Ньютона? Ньютон не скрывал своего отрицательного отношения к гипотезам. И в «Оптике» и в «Началах» он предупреждал читателя о своем намерении не прибегать к гипотезам и высказывался по поводу гипотез совершенно определенно: «Гипотезам... метафизическим, механическим, скрытым свойствам, не место в экспериментальной философии». Знаменитое *hypotheses non fingo* («гипотез не измышляю») Ньютона кратко и точно выражает его отношение к гипотезам, и в этом пункте он полностью солидарен с Котсом.

Однако, несмотря на такое категорическое заявление, он и в «Началах» и особенно в «Оптике» неоднократно выдвигает и обсуждает гипотезу. Ведь уже сама его знаменитая концепция абсолютного пространства, не постигаемого чувствами, является гипотезой и притом явно метафизического характера. Более того, в предисловии к первому изданию «Начал» он выдвигает в качестве основной программы физики задачу построения механической теории природы. При этом он исходит из гипотезы, что явления природы «обуславливаются некоторыми силами, с которыми частицы тел, вследствие причин, покуда неизвестных, или стремятся друг к другу и сцепляются в правильные фигуры, или же взаимно отталкиваются и удаляются друг от друга»

Картина мира, рисуемая в этом программном высказывании, основана на атомной гипотезе и представлении о неизвестных еще межатомных притягательных и отталкивательных силах. Что же касается самих далеко-действующих центральных сил, математическую характеристику которых Ньютон изложил тщательно и подробно, то он подчеркивал, что эта характеристика только математическая и она вовсе не означает, что ею определяются «физические причины происхождения таких сил» или что силовым центрам («которые суть математические точки») приписываются «физические силы», формулируя понятия, характеризующие центростремительные силы, Ньютон подчеркивал: «Эти понятия должно рассматривать как математические, ибо я еще не обсуждаю физических причин и места нахождения сил».

Заканчивая «Начала», Ньютон пишет «общее поучение» в духе Котса, начиная его словами: «Гипотеза вихрей подавляется многими трудностями», и более кратко, чем Коте, но с большей точностью излагает суть своей теории, которая хорошо согласуется с наблюдениями, в то время как картезианская вихревая теория им противоречит. В духе Котса Ньютон приходит к выводу, что «такое изящнейшее соединение Солнца, планет и комет не могло произойти иначе, как по намерению и по власти могущественного и премудрого существа». Таким образом, вопреки своему намерению «не измышлять гипотез», Ньютон вводит гипотезу бога и подробно обсуждает ее, заканчивая свой богословский экскурс утверждением, что рассуждения о боге «на основании совершающихся явлений, конечно, относятся к предмету натуральной философии». Итак, картезианским гипотезам «не место в натуральной философии», богословским же и Коте и Ньютон охотно предоставляют страницы «натуральной философии». В этом пункте они солидарны.

Но заканчивается это антикартезианское богословское «общее поучение» совершенно

неожиданно: «Теперь следовало бы кое-что добавить о некотором тончайшем эфире, проникающем все сплошные тела и в них содержащемся, коего силою и действиями частицы тел при весьма малых расстояниях взаимно притягиваются, а при соприкосновении сцепляются, наэлектризованные тела действуют на большие расстояния, как отталкивая, так и притягивая близкие малые тела, свет испускается, отражается, преломляется, уклоняется и нагревает тела, возбуждается всякое чувство, заставляющее члены животных двигаться по желанию, передаваясь именно колебаниями этого эфира от внешних органов чувств мозгу и от мозга мускулам. Но это не может быть изложено вкратце, к тому же нет и достаточного запаса опытов, коими законы действия этого эфира были бы точно определены и показаны».

Физик в Ньюtone побеждает теолога, и он заканчивает свое творение наброском грандиозной программы физики эфира, объясняющей свойства тел, электрические, оптические и физиологопсихические явления совершинно в духе материалистической концепции Декарта.

Часть II. Развитие основных направлений классической физики (XVIII-XIX вв.)

Глава первая. Завершение научной революции в XVIII в.

Исторические замечания

«Мы живем в такое время, в которое науки после своего возобновления в Европе возрастают и к совершенству приходят», – писал М. В. Ломоносов в 1746 г. в своем предисловии к «Воль-фианской физике». Характеризуя революционный процесс «возобновления наук», Ломоносов указывает в качестве главной причины, тормозящей прогресс науки во времена средневековья, преклонение перед авторитетом Аристотеля и особенно подчеркивает заслугу Картезия (Декарта), который своим критическим анализом «открыл дорогу к вольному философствованию и к вящему наук приращению». Образно и ярко характеризует Ломоносов успехи астрономии, математики и естествознания в эпоху Галилея – Ньютона и отмечает, что эти успехи обусловлены тем, «что ныне ученые люди, а особливо испытатели натуральных вещей, мало взирают на родившиеся в одной голове вымыслы и пустые речи, но больше утверждают на достоверном искусстве. Главнейшая часть натуральной науки – физика ныне уже только на одном оном свое основание имеет. Мысленные рассуждения произведены бывають из надежных и много раз повторенных опытов».

Замечательное предисловие Ломоносова свидетельствует о том, как глубоко и четко передовой ученый середины XVIII в. осознавал свою причастность к великому перевороту в науке, произведенному Галилеем, Кеплером, Бойлем, Герице, Гюйгенсом, Ньютоном и другими естествоиспытателями XVII в. Он хорошо понимал значение перехода от схоластического метода средневековых ученых к науке, основанной на «достоверном искусстве» эксперимента. Ломоносов выразил в предисловии мысли и настроения своих современников, завершающих дело Галилея – Ньютона. К тому времени расширилась область применения эксперимента в физике и химии. Эксперимент стал широко применяться в исследовании тепловых и электрических явлений, в анализе химических реакций, в биологии. Использование математики в астрономии и механике привело к замечательным успехам небесной механики и к созданию аналитической механики Эйлера–Лагранжа. Механика, освободившись от громоздких геометрических методов Ньютона, стала изящной математической дисциплиной. Выделившись из остальной физики, она представила образец для физических теорий.

Научный прогресс был неразрывно связан с социальным прогрессом. Существовали

глубокие социальные причины научной революции, о которых писали К.Маркс в «Капитале» и ф. Энгельс в «Введении» к «Диалектике природы» и в работе «Развитие социализма от утопии к науке». Научная революция произошла в историческую эпоху перехода от феодализма к капитализму. Этот исторический процесс развивался в XVIII в. с нарастающей силой. Вслед за Англией наступила очередь Франции, в которой в течение всей первой половины столетия шла напряженная борьба «третьего сословия» против дворянства и духовенства. Идеологи третьего сословия – французские просветители и материалисты – развернули кипучую деятельность, ставшую по сути дела идеологической подготовкой революции. Едкой и беспощадной критике подвергалась католическая церковь – идеологический оплот феодализма, пропагандировались идеи естественного равенства всех людей, идеи общественного переустройства на новых «естественных» и «разумных» началах.

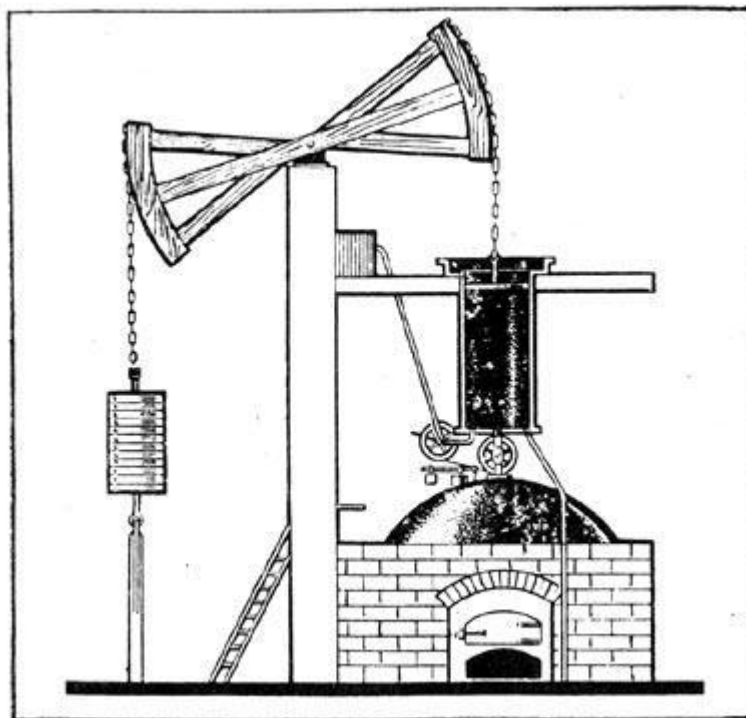
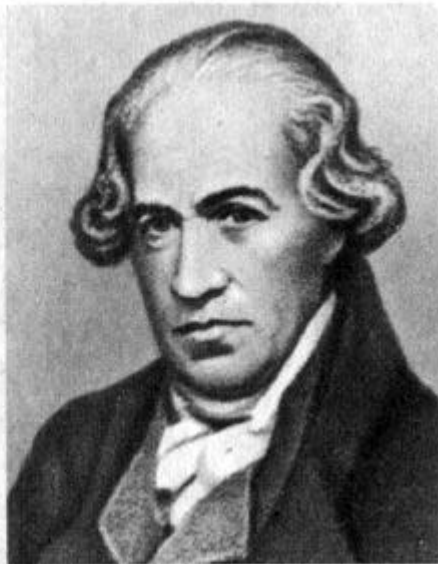


Рис. 18 Машина Ньюкомена

Писатели и философы, политические деятели критиковали устои феодального общества. Комедии Бомарше, романы и философские сочинения Вольтера, общественные и педагогические идеи Руссо, философские произведения Дидро, Ламетри, Гельвеция, Гольбаха и других с разной силой, на разных уровнях и с различных сторон расшатывали устои феодализма.

Особую роль в деятельности французских просветителей и философов играла наука. Законы науки, законы разума лежали в основе их теоретических концепций. Вольтер в своих книгах «философские письма», «Основы философии Ньютона» знакомил французских читателей с теорией Ньютона. По его инициативе и под его непосредственным влиянием ученая маркиза Эмилия дю Шатлэ перевела на французский язык «Начала» Ньютона, снабдив перевод написанными ею дополнениями «Сокращенное изложение системы мира» и «Аналитическое решение важнейших задач, относящихся к системе мира». Вольтер написал к переводу «Историческое предисловие». Перевод вышел в 1759 г., спустя десять лет после смерти Шатлэ.

Д. Уатт



С 1751 г. начала выходить знаменитая «Энциклопедия, или Толковый словарь наук, искусств и ремесел» под редакцией Дидро и Даламбера.

В первых томах «Энциклопедии» сотрудничали Вольтер и Руссо. До 1757 г. Дидро редактировал «Энциклопедию» вместе с математиком Даламбером. С 1757 г. и до выхода последнего тома (1780) изданием руководил Дидро.

Влияние идеологов французской революции распространилось далеко за пределы Франции. Они сыграли огромную роль в духовном развитии человечества, французский материализм был одним из источников марксизма. В.И. Ленин открывает свое фундаментальное философское произведение «Материализм и эмпириокритицизм» в вводной главой, в которой, в частности, подробно останавливается на критике субъективного идеализма материалистом Дидро. В развитии русского общественного сознания – философии и литературы – деятельность французских писателей и философов XVIII в. сыграла значительную роль.

Французские просветители и материалисты, высоко оценивая роль разума и науки, стали «виновниками» того, что в историю науки и культуры XVIII век вошел под названием «век разума». Это название утвердилось, несмотря на то что в том же XVIII в. возникла идеалистическая реакция на успехи науки. Субъективный идеализм епископа Джорджа Беркли (1684–1753), скептицизм Давида Юма (1711–1776), учение о непознаваемых «вещах в себе» Иммануила Канта (1724–1804) сложились также в XVIII в. Отсюда берет начало расхождение естествознания и философии, особенно четко определившееся в период господства немецкой классической философии Шеллинга, Гегеля, Фихте, о чем еще будет более подробно рассказано.

Вернемся, однако, к социальной истории XVIII в. Переход от феодализма к капитализму отмечен в этом столетии тремя крупными вехами. Это, во-первых, американская революция 1775–1783 гг., в результате которой на политической карте мира появилось новое независимое государство – Соединенные Штаты Америки. Маркс отмечал, что «американская война XVIII столетия за независимость прозвучала набатным колоколом для европейской буржуазии» (*Маркс К Капитал – Маркс К, Энгельс ф Соч 2 е изд, т 23, с 9*)

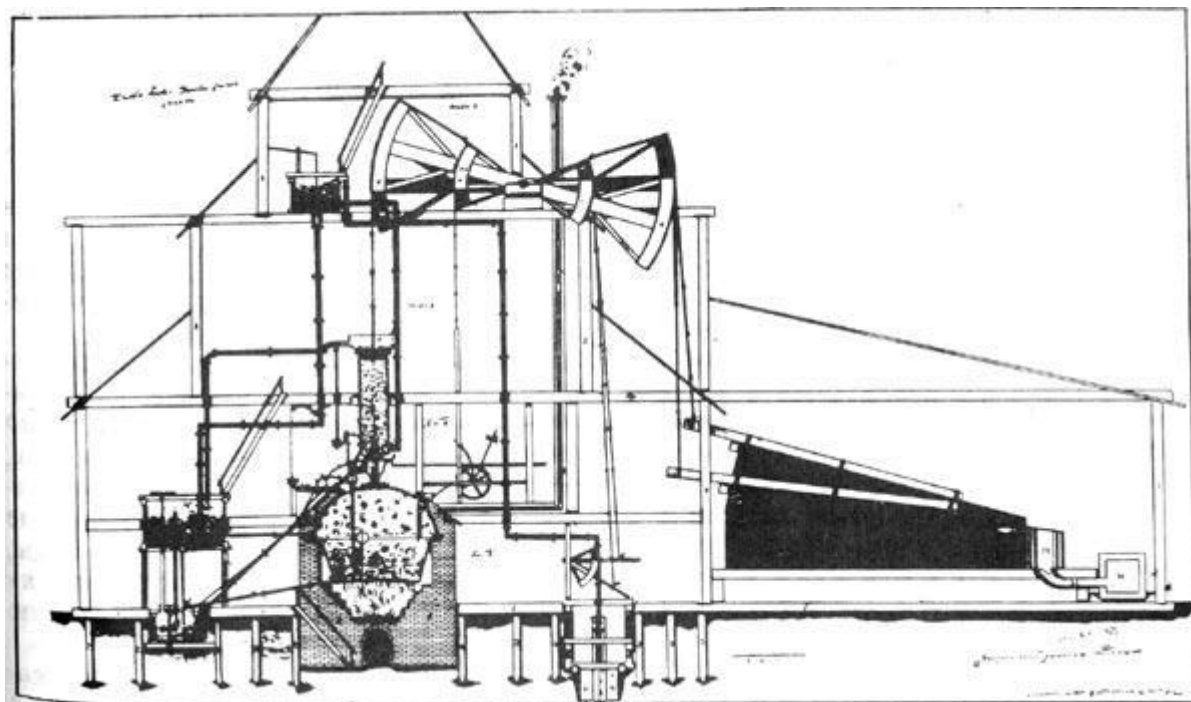


Рис. 19. Проект паровой машины И.И. Ползунова

За этим набатным колоколом разразился пожар Великой французской революции (1789–1794), обеспечившей победу буржуазии над феодальным дворянством.

Наряду с политическими революциями в XVIII в происходила и экономическая промышленная революция, в результате которой ремесленный способ производства был вытеснен фабрично-заводским. Именно в этом столетии начался процесс капиталистической индустриализации. Он начался в Англии и вошел в историю под названием «Промышленный переворот в Англии». Маркс считал началом переворота дату изобретения, английским изобретателем Джоном Уайяттом (1700–1766) первой прядильной машины (1733).

Действительно, промышленный переворот начался в хлопчатобумажном производстве с изобретения прядильной машины. Однако от изобретения Уайятта до организации первой прядильной фабрики, оборудованной машинами, лежал длительный и трудный путь. Уайятт, Харгривс и другие изобретатели не добились успеха. Ловкий предприниматель парикмахер

Ричард Аркрайт (1732–1792) сумел поставить на практические рельсы изобретение прядильной машины, построив в 1771 г первую прядильную фабрику, оборудованную запатентованными им машинами. Аркрайт стал первым фабрикантом Англии, родоначальником современных промышленных «тузов».

Фабрика потребовала универсального двигателя. В крепостнической России на алтайских заводах гениальный русский механик Иван Иванович Ползунов (1728–1766) думал о том, что бы «пресечь водяное руководство» и перейти от привязанного к реке водяного колеса к тепловому двигателю – «огненной машине».

Такие машины были известны с начала XVIII в (Ньюкомен, 1705). Это были по существу пароатмосферные насосы, применявшиеся для откачки воды из шахт, для подачи воды в фонтаны увеселительных парков. Ползунов построил пароатмосферную машину непрерывного действия с автоматическим впуском и выпуском пара и инжектированием холодной воды для образования вакуума. К сожалению, преждевременная смерть изобретателя (машина испытывалась уже после его кончины) и неблагоприятные условия в феодальной России помешали довести интересное и важное начинание до конца.

Изобретение Ползунова было надолго забыто.

Универсальный паровой (а не пароатмосферный) двигатель с отделением конденсатора от рабочего цилиндра и непрерывным действием был создан английским изобретателем Джемсом Уаттом (1736–1819). Паровые машины работали на многих

фабриках и заводах Англии, приводили в движение колеса паровозов (фультон, 1807).

Создавались первые паровозы. Наступала эпоха пара.

Таким образом XVIII в. в истории общества обеспечил победу капитализма над феодализмом и положил начало эпохе промышленного капитализма в Европе и Америке.

Наука в России. М.В. Ломоносов



М. В. Ломоносов

Процесс развития капитализма происходил неравномерно и в каждой стране по-своему. Так, в молодой буржуазной республике США капиталистическая «свобода» и буржуазная демократия сочетались с рабовладением и работорговлей. В России в результате петровских реформ создавалась промышленность и развивалась внутренняя и внешняя торговля на основе крепостного строя и помещичьего хозяйства. Сильны были феодальные порядки в раздробленной Германии, Австрии и Италии. Характерно, что именно в этих странах наука отставала от английской и французской науки, а после победы французской революции наука в области точного естествознания во Франции заняла ведущие позиции.

Петр I хорошо понимал значение науки для интенсивно развивающегося государства. Во время своих заграничных поездок он знакомился с организацией науки в Лондоне и Париже. Он поддерживал контакт с виднейшим представителем немецкой науки Лейбницем, советовался с ним по вопросу организации высшего научного учреждения в России. К тому времени сложились два основных типа таких учреждений: Лондонское Королевское общество и Парижская Академия наук. Лондонское Королевское общество, хотя и называлось Королевским, было объединением частных лиц, вносящих членские взносы на расходы общества по постановке экспериментов, по изданию печатных материалов, переписке и т. д. Ньютон, как несостоятельный человек, был при избрании его членом общества освобожден от уплаты членских взносов по поданному им заявлению.

Иное дело Парижская Академия. Она содержалась на средства короля, академики получали «пенсион» и, таким образом, являлись королевскими служащими. Петр I выбрал в качестве образца парижский вариант. Но ему хотелось, чтобы академия решала задачу подготовки национальных научных кадров. Его указ предписывал учредить при академии гимназию и университет.

Однако академики не очень стремились выполнять педагогические обязанности, и академические учебные заведения владели жалкое существование. В конце концов преподавание сосредоточилось в специальных средних и высших учебных заведениях, не связанных с академией. Так, в 1755 г. в Москве по инициативе Ломоносова был организован

университет, ныне носящий имя своего великого основателя.

Проблема подготовки национальных кадров в первые годы существования академии решалась плохо. Немало энергии потратил М.В.Ломоносов, чтобы добиться изменения положения к лучшему. В академии долгие годы ведущую роль играли немцы, и борьба русских и «иноязычных» ученых пронизывает всю историю Академии наук до Октября.

Указ Петра I об учреждении Академии наук был подписан 28 января 1724 г. Ровно через год после подписания указа Петр I умер, и академия начала работать уже при его преемниках. Это время было очень неблагоприятным для успешного развития академии. Дворцовые перевороты, смена временщиков поглощали все внимание правящей верхушки, которую академия мало интересовала.

Собравшиеся в 1725 г. в Петербурге ученые составили сильный научный коллектив, из которого особую известность получили Д. Бернулли (1700-1782) и Л. Эйлер (1707-1783).

Даниил Бернулли и Леонард Эйлер были не только крупными математиками, но и естествоиспытателями, оставившими глубокий след в механике и физике. Широта научных интересов Эйлера поразительна: он занимался различными областями математики, механики, астрономии, физики, техники и даже сельского хозяйства. Его интересовали проблемы логики, философии, статистики. Каталог его сочинений содержит около 900 названий.

Даниил Бернулли является автором знаменитой «Гидродинамики», вышедшей в 1738 г. Оттуда вошло в учебники известное «уравнение Бернулли»; здесь был дан вывод закона Бойля – Мариотта на основе кинетической модели газа.

Широкой известностью пользовались в свое время физики Бильфингер и Крафт.

Последний основал в академии физический кабинет, в котором сам начал экспериментировать. Ему принадлежит одна из первых калориметрических формул для определения температуры смеси горячей и холодной воды.

Академия наук с 1728 г. начала издавать научный журнал «Commentarii», сразу завоевавший широкую известность в научных кругах. В «Комментариях» Петербургской Академии наук считали за честь печататься видные зарубежные ученые. Научное лицо Петербургской Академии наук с первых лет ее существования определилось: она начала работать как первоклассное научное учреждение. Однако неблагоприятные политические условия тяжело отразились на работе молодой академии. Один за другим академики уезжали за границу, уехали Бернулли и Эйлер, Герман и Крафт. Академическими делами самовластно распорядилась академическая канцелярия, которой командовал пронырливый библиотекарь Шумахер. В таком состоянии нашел академию будущий первый русский академик Михаил Васильевич Ломоносов.

Л. Эйлер



Биография Ломоносова достаточно хорошо известна, хотя в ней еще есть немало белых пятен. Только недавно установлено место его рождения; деревня Мишанинская, вблизи Холмогор, Архангельской губернии. День его рождения датируется «Михайловым днем» (8 ноября старого стиля) 20 ноября 1711 Г. Ломоносов был сыном крестьянина-помора Василия Дорофеева. Мы не знаем точно, под влиянием каких обстоятельств родилась у молодого сына рыбака страсть к науке. Сам Ломоносов называл «вратами своей учености» «Граматику» Мелетия Смотричко-го и «Арифметику» Леонтия Магницкого. В истории русской культуры и науки эти книги, из которых одна была своеобразной энциклопедией церковнославянского языка, а другая – энциклопедией математических наук, занимают видное место и характеризуют уровень науки и просвещения в России, достигнутый к началу XVIII столетия.

Эти книги и, по всей вероятности, беседы с бывалыми людьми пробудили в Ломоносове жажду знания, и зимой 1730 г. он отправился в Москву учиться. В 1731 г. он поступил в тогдашнее высшее учебное заведение – Заиконоспасскую духовную академию в Москве. Впоследствии Ломоносов сам описывал трудные условия, в которых в течение пяти лет проходило его учение.



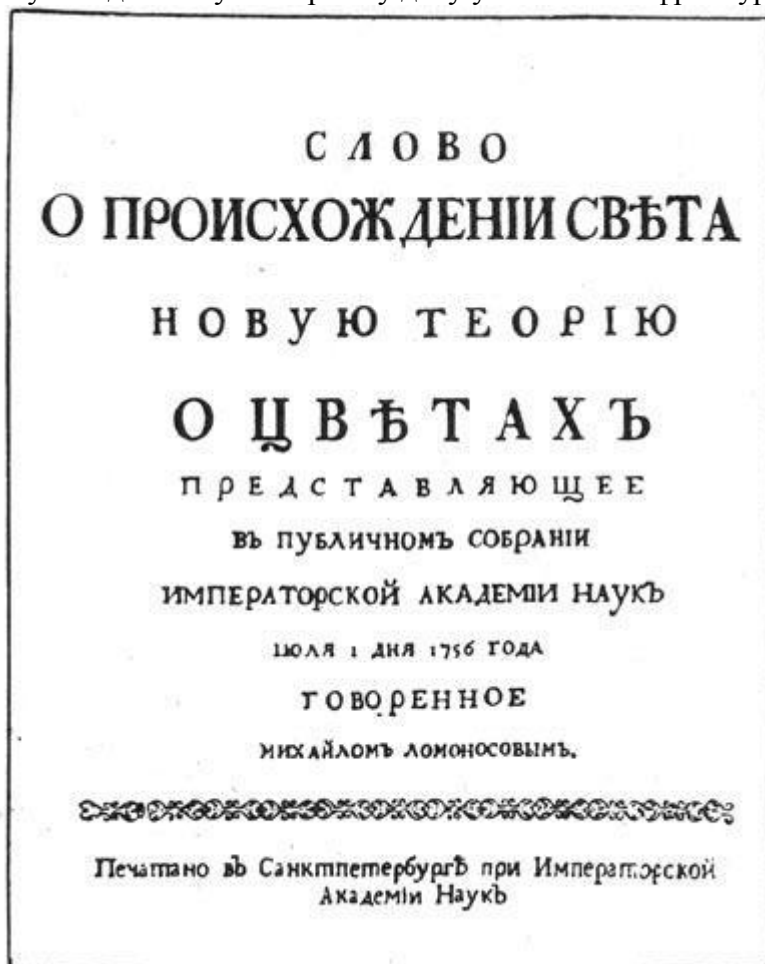
Рис. 20. Страница 'Арифметики' Магницкого

Однако даровитого юношу не удовлетворяла церковная схоластика и жизненные перспективы по окончании академии. Одно время он подумывал ехать священником в экспедицию. Счастливый случай круто повернул его судьбу.

Организованная при Петре I промышленность по добыче и переработке металлических руд остро нуждалась в специалистах. Предполагалось выписать их из-за границы. Но в академии и в сенате нашлись люди, понимавшие, что настало время приступить к подготовке собственных кадров. По представлению «командира академии»

Корфа сенат издал указ об отборе из числа учащихся существовавших тогда учебных заведений наиболее способных для продолжения образования в академическом университете. Во исполнение указа было отобрано двенадцать молодых людей, в том числе и студент Заиконоспасской академии Михаиле Ломоносов, прибывший в Петербург 1 января старого стиля 1736 г. За границу были посланы трое: Ломоносов, Виноградов и Рейзер – для

подготовки из них специалистов горного дела. Сначала они должны были пройти общий курс наук в Марбурге у известного философа Христиана Вольфа. Выражаясь современным языком молодые люди должны были сначала пройти аспирантуру у Вольфа, а в дальнейшем – специальную подготовку по горному делу у Генкеля во фрейбурге.



Титульный лист 'Слова о происхождении света' М.В. Ломоносова

За границей Ломоносов пробыл пять лет. Это были напряженные и бурные годы его жизни. Он испытал немало жизненных приключений, которые иной раз могли окончиться для него весьма плачевно, но вместе с тем упорно и напряженно работал и вернулся в Россию в 1741 г. сложившимся ученым с определенными научными убеждениями и принципами.

С этого времени и до конца своей жизни Ломоносов трудился над приведением академии в «доброе состояние», над созданием условий, способствующих «процветанию наук» в России. Его личная научная работа поистине всеобъемлюща. Он первый русский профессор химии (1745), создатель первой русской химической лаборатории (1748), автор первого в мире курса физической химии. В области физики он оставил ряд важных работ по кинетической теории газов и теории теплоты, по оптике, электричеству, гравитации и физике атмосферы. Он занимался астрономией, географией, металлургией, историей, языкознанием, писал стихи, создавал мозаичные картины, организовал фабрику по производству цветных стекол. Это был многогранный ученый, оставивший яркий след в разных областях науки, техники, литературы и искусства.



Страница из письма Ломоносова к Эйлеру, на которой дана формулировка закона сохранения

К этому надо добавить неутомимую общественную и организаторскую деятельность М.В. Ломоносова. Он активный член академической канцелярии, издатель академических журналов, организатор университета, руководитель ряда отделов академии. Эта разносторонняя кипучая деятельность, связанная с борьбой против «недрузей наук российских», надломил силы Ломоносова. Он скончался 4 апреля 1765 г., не прожив и пятидесяти четырех лет.

Проследим основные этапы научного пути Ломоносова. Это поможет нам не только понять историческое значение Ломоносова-ученого, но и ознакомиться с идеями и проблематикой науки первой половины XVIII в.

Первыми научными трудами Ломоносова были сочинения, посылаемые им из Германии в Академию наук в качестве отчета о своих научных занятиях. 15 октября 1738 г. Ломоносов отправил в академию вместе с рапортом перевод оды Фенелона и написанную на латинском языке «Работу по физике о превращении твердого тела в жидкое в зависимости от движения предсуществующей жидкости». В марте 1739 г. «студент математики и философии Михаиле Ломоносов» представил в Академию наук физическую диссертацию «О различии смешанных тел, состоящем в сцеплении корпускул». В Марбурге же Ломоносов начал большое сочинение «Элементы математической химии», рукопись которой, хранящаяся в архиве Академии наук, помечена 1741 г. Это сочинение осталось незаконченным, общий план задуманного Ломоносовым большого труда содержится в конце рукописи.

Вообще следует подчеркнуть, что законченных и опубликованных трудов по физике и химии у Ломоносова немного, большая часть осталась в виде заметок, фрагментов, неоконченных сочинений и набросков. В Полном собрании сочинений Ломоносова в первых четырех томах, содержащих работы по физике, химии, астрономии и приборостроению, опубликовано 85 работ, из них законченных и опубликованных при жизни Ломоносова 27, в

том числе одна переводная книга «Вольфианская физика» и одна переводная брошюра («Описание появившейся в начале 1744 года кометы»). Таким образом, при жизни Ломоносова было завершено и опубликовано менее трети его работ.

В то же время, начиная с 1741 г., ежегодно публиковались оды и стихи Ломоносова, несколько изданий выдержали «Риторика» и «Грамматика» Ломоносова, выходили его исторические и географические труды. Вполне естественно, что Ломоносов долгое время был известен прежде всего как поэт и писатель и при слабом развитии истории естествознания в России фигурировал в учебниках истории словесности как один из первых русских писателей. Только Пушкин правильно расставил ударения на деятельности Ломоносова, подчеркнув его роль как ученого и просветителя, назвав его «первым русским университетом».

Возвращаясь к началу научного пути Ломоносова, следует подчеркнуть, что как его студенческие работы, так и в особенности «Элементы математической химии» предопределяют дальнейший ход развития его научных воззрений. Ломоносов начинал свой научный путь в эпоху становления химии как науки, кристаллизации ее основных понятий и методов. Химия XVII в. еще не освободилась от алхимических представлений и была своеобразным искусством приготовления веществ, нужных для практических целей. Алхимики искали средств превращения обычных веществ в благородные металлы, создания удивительного вещества – «философского камня». Теория четырех элементов Аристотеля позволяла надеяться на достижение этих целей. Комбинируя первичные «качества» и подбирая сочетания «элементов», можно было надеяться получить вещество с любыми свойствами.

Неудачи алхимиков в достижении больших целей привели к замене недостижимых целей более практическими, к изготовлению лекарственных средств, к поискам полезных для технологических целей рецептов. В этих поисках был накоплен огромный эмпирический материал, для обработки которого элементы Аристотеля были совершенно недостаточной базой. Химики вводили новые «элементы», подсказываемые химической практикой. К аристотелевским элементам они добавляли ртуть, являющуюся, как они думали, началом металлического блеска, серу, служащую началом горючести, и соль – началом растворимости. Эти «философские» элементы не отождествлялись с конкретными – ртутью и серой, они являлись носителями указанных «начал».

Металлургическая практика стимулировала особый интерес к металлам и их окислам. Процесс восстановления металлов из их руд нуждался в теоретическом истолковании. В 1703 г. врач прусского короля Георг Эрнест Шталь (1660–1734) предложил гипотезу особого горючего вещества – флогистона. Шталь считал флогистон невесомым и даже допускал для него отрицательный вес. Металл, по Шталю, представляет собой соединение особого землистого вещества и флогистона, который выделяется при процессах окисления, а в процессе восстановления поглощается. «Гипотеза Сталя, – писал Д. И. Менделеев в «Основах химии», – отличается большой простотой, она в середине XVIII века нашла себе многих сторонников». Ее принимал и М.В. Ломоносов в сочинениях «О металлическом блеске» (1745) и «О рождении и природе селитры» (1749). флогистические воззрения встречаются в некоторых, его физико-химических заметках, в «Курсе истинной физической химии» (1752–1754), «Слове о рождении металлов» (1757), «Слове о происхождении света» и других сочинениях.

В сочинениях Ломоносова, в частности в «Слове о происхождении света», фигурирует и концепция трех элементов: ртути, соли и серы. Это и не удивительно. Ломоносов учился химии по распространенным тогда учебникам Бургаве, Шталя и Штабеля. Его учитель химии и горного дела Генкель был ограниченным эмпириком и не мог передать Ломоносову основательных химических воззрений. Во времена Ломоносова были известны только два газа: воздух и углекислый газ. Водород, кислород и азот были открыты после его смерти. В этих условиях создать правильную теорию горения было просто невозможно. Поразительно, что молодой Ломоносов увидел недостатки в современной ему науке и наметил правильные

теоретические основы химии.

В сочинении «О действии химических растворителей вообще», написанном в 1743 г., опубликованном в 1750 г., Ломоносов отмечает, что, несмотря на длительные труды многих людей, химия «все еще покрыта глубоким мраком и подавлена своей собственной громадой».

«От нас, – продолжает Ломоносов, – скрыты подлинные причины удивительных явлений, которые производит природа своими химическими действиями, потому до сих пор нам неизвестны более прямые пути, ведущие ко многим открытиям, которые умножили бы счастье человеческого рода». Из этой цитаты, между прочим, видно, что теория, которая открыла бы пути «ко многим открытиям», имеет и важное практическое значение, поскольку научные открытия умножают «счастье человеческого рода».

В науке, по мнению Ломоносова, теория и практика неразрывно связаны. Уже в одной из своих первых работ – «Элементы математической химии» – Ломоносов утверждает: «Истинный химик должен быть теоретиком и практиком». В этой работе Ломоносов называет химию наукой, а не искусством, какой она еще считалась и фактически была в те времена. Ломоносов в противоположность этому общепринятому взгляду на химию высказывает твердое убеждение, что «занимающиеся одной практикой – не истинные химики». «Истинный химик, – говорит Ломоносов, – ...должен быть также и философом».

В основе химических явлений, по Ломоносову, лежит движение частиц – «корпускул». Поэтому, «кто хочет глубже постигнуть химические истины», тот должен «изучать механику». «А так как знание механики предполагает знание чистой математики, то стремящийся к ближайшему изучению химии должен быть сведущ в математике». Так при самом зарождении химической науки Ломоносов, сам только начинавший свой научный путь, ясно понял, что химическая теория должна строиться на законах механики и математики. Современная теоретическая химия основывается на квантовой механике, для понимания которой нужно глубокое знание математики, и тем самым воочию подтверждает правоту учения Ломоносова.

6 сентября 1751 г. Ломоносов вновь высказал свои идеи об основаниях химической науки в своем знаменитом «Слове о пользе химии», произнесенном на публичном собрании Академии наук. Это слово Ломоносов произнес, будучи академиком, организатором первой в России химической лаборатории, лектором первого в мире курса физической химии. Здесь Ломоносов вновь подчеркнул, что для успеха химической науки «требуется весьма искусный химик и глубокий математик в одном человеке». «Химия руками, математика очами физическими по справедливости назваться может».

Ломоносов в своем «Слове» раскрывает важную роль в общественном прогрессе химии, физики и металлургии. Он указывает на большое практическое значение химии. «Широко распространяет химия руки свои в дела человеческие!» – восклицает Ломоносов. Вместе с тем он лишен ограниченности специалиста и предостерегает слушателей, чтобы они не думали, что он якобы «всечеловеческой жизни благополучие» видит в одной химии. «Имеет каждая наука равное участие в блаженстве нашем», – указывает Ломоносов.

Ломоносов является одним из основателей научной химии, глубоко понимавшим ее задачи и назначение. Он первым заговорил о физической химии как науке, объясняющей химические явления на основе законов физики и использующей физический эксперимент в исследовании этих явлений. Тем самым он опередил свою эпоху более чем на сто лет.

Практическую часть химии, то, что относится «к наукам экономическим, фармации, металлургии, стекольному делу и т. д.», Ломоносов предлагает отнести «в особый курс технической химии», опять-таки опередив свое время.

В химических работах Ломоносова важную роль играет атомистика, которая служит краеугольным камнем его научного мышления. Ломоносов является одним из основателей механической теории теплоты и кинетической теории газов. В своих работах на эту тему он сводит теплоту и упругость газов к движениям «нечувствительных частиц».

Как химик-практик, Ломоносов не мог еще отказаться от флогистона, но, как

физик-теоретик, он категорически выступил против концепции теплорода, считая ее рецидивом аристотелевского «элементарного огня». Заметим, что автор кислородной теории горения Лавуазье еще считал теплород (calorique) одним из химических элементов. В физике концепция теплорода господствовала целое столетие после опубликования классической работы Ломоносова «Размышления о причине теплоты и холода» (опубликована в 1750 г. на латинском языке в «Новых Комментариях»).

В научной системе Ломоносова важное место занимает «всеобщий закон» сохранения. Впервые он формулирует его в письме к Леонарду Эйлеру от 5 июля 1748 г. Здесь он пишет: «Но все встречающиеся в природе изменения происходят так, что если к чему-либо нечто прибавилось, то это отнимается у чего-то другого. Так, сколько материи прибавляется к какому-либо телу, столько же теряется у другого, сколько часов я затрачиваю на сон, столько же отнимаю от бодрствования, и т. д. Так как это всеобщий закон природы, то он распространяется и на правила движения: тело, которое своим толчком возбуждает другое к движению, столько же теряет от своего движения, сколько сообщает другому, им двинутому».

Печатная публикация закона последовала через 12 лет, в 1760 г., в диссертации «Рассуждение о твердости и жидкости тел». Здесь в русском переводе конец читается так: «Сей всеобщий естественный закон простирается и в самые правила движения; ибо тело, движущее своею силою другое, столько же оные у себя теряет, сколько сообщает другому, которое от него движение получает». Это, по-видимому, первая в истории физики формулировка закона «сохранения силы». До введения Ранкиным термина «энергия» закон сохранения энергии именовался законом сохранения силы. У Ломоносова он является частным случаем всеобщего закона сохранения.

Недостатком формулировки Ломоносова является отсутствие точной количественной меры силы. Во времена Ломоносова спорили о двух мерах механического движения: mv и mv^2 , еще только выработывались понятия калориметрии, в области электричества и магнетизма вообще еще не было количественных характеристик, и поэтому отсутствие количественной формулировки сохранения силы у Ломоносова вполне естественно.

Ломоносов сделал важный шаг, введя для количественной характеристики химических реакций весы. В отчете о своих работах за 1756 г. он записывает: «Между разными химическими опытами, которых журнал на 13 листах, деланы опыты в заплавленных накрепко стеклянных сосудах, чтобы исследовать: прибывает ли вес металлов от чистого жару. Оными опытами нашлось, что славного Роберта Бойля мнение ложно, ибо без пропущения внешнего воздуха вес сожженного металла остается в одной мере».

Все замечательно в этой сухой фразе отчета: первая в мире опытная проверка закона сохранения веса при химической реакции, опытное опровержение ошибочного мнения крупного авторитета и первый значительный шаг к теории горения Лавуазье. Ломоносов здесь показал, так же как и в своей теории теплоты, конкретное применение всеобщего закона сохранения. В истории закона сохранения энергии и массы Ломоносову по праву принадлежит первое место.

Ломоносов был пионером во многих областях науки. Он открыл атмосферу Венеры и нарисовал яркую картину огненных валов и вихрей на Солнце. Он высказал правильную догадку о вертикальных течениях в атмосфере, правильно указал на электрическую природу северных сияний и оценил их высоту. Он пытался разработать эфирную теорию электрических явлений и думал о связи электричества и света, которую хотел обнаружить экспериментально. В эпоху господства корпускулярной теории света он открыто поддержал волновую теорию «Гугения» (Гюйгенса) и разработал оригинальную теорию цветов.

Это был яркий и независимый ум, взгляды которого во многом опередили эпоху. Ему не удалось полностью реализовать свои обширные научные замыслы, но того, что он сделал, оказалось достаточно, чтобы обеспечить ему почетное место в пантеоне науки.

«Начала» Ньютона, как уже было сказано, были изложены тяжелым геометрическим языком. Доказательства механических предложений были громоздки и сложны. В XVIII в. в механику проникают методы дифференциального и интегрального исчисления, которые не решился применять в своем основном труде один из создателей этих методов. В превращении механики в аналитическую механику сыграла существенную роль плеяда блестящих математиков и механиков XVIII в., в особенности петербургский академик Леонард Эйлер и парижский академик Жозеф Луи Лагранж (1736–1813). Отметим, что и Эйлер и Лагранж в разное время работали в Берлинской Академии наук, куда Лагранж был избран в 1759 г. по представлению Эйлера. После отъезда Эйлера в Россию Лагранж переехал в Берлин, заняв пост Эйлера. Лагранж вернулся во Францию спустя пять лет после смерти Эйлера, накануне Великой французской революции.

«Механика» Эйлера вышла в Петербурге в 1736 г. в двух больших томах. Второе его основное сочинение по механике, которое рассматривается как третий том «Механики», вышло в 1765 г. в Ростове и Грейфсвальде под названием «Теория движения твердых тел».

Мы знаем, что Ньютон озаглавил свое сочинение «Началами натуральной философии», механикой в его время считалось учение о равновесии простых машин. Эйлер же впервые назвал механику наукой о движении, и полный перевод названия его труда в 1736 г. гласит: «Механика, или Наука о движении, изложенная аналитически». В предисловии к этому труду Эйлер указывал, что под механикой обычно понимают науку о равновесии сил, и предлагал дать этой науке название «статика», а «науке о движении придать имя механики».

И. Бернулли возражал против такого словоупотребления, предлагая для науки о движении сохранить термин, введенный Лейбницем, – «динамика». Эйлер в предисловии ссылается на сочинения своих предшественников: французского математика и механика Вариньона (1654–1722), сочинение которого «Новая механика или статика» вышло в 1725 г. после смерти автора; Христиана Вольфа (1679–1754), в сочинении которого «Начала всех математических наук» (1710) в разделе «Элементы механики» рассмотрены вместе и статика и механика; и наконец, швейцарского математика и петербургского академика Германа (1678–1733), сочинение которого «Форономия, или О силах и движениях твердых и жидких тел» было опубликовано в 1716 г. Он называет также и «Начала» Ньютона, благодаря которым «наука о движении получила наибольшее развитие». Эйлер отмечает, что «форономия» является единственным известным ему сочинением, в котором учение о движении было разобрано «совершенно отдельно». Но он указывает, что работы Германа и Ньютона изложены «по обычаю древних при помощи синтетических геометрических доказательств» без применения анализа, «благодаря которому только и можно достигнуть полного понимания этих вещей». Эйлер сознается, что после изучения «форономии» и «Начал» он, как ему казалось, «достаточно ясно понял решение многих задач, однако задач, чуть отступающих от них, ...уже решить не мог». Тогда он попытался «выделить анализ из этого синтетического метода и те же предложения для собственной пользы проработать аналитически». Эйлер отмечает, что благодаря этому он «значительно лучше понял суть вопроса».

«Затем таким же образом я исследовал и другие работы, относящиеся к этой науке, разбросанные по многим местам, и лично для себя я изложил их планомерным и однообразным методом и привел их в удобный порядок. При этих занятиях я не только встретился с целым рядом вопросов, ранее совершенно незатронутых, которые я удачно разрешил, но и нашел много новых методов, благодаря которым не только механика, но и сам анализ, по-видимому, в значительной степени обогатился. Таким образом и возникло это сочинение о движении, в котором я изложил аналитическим методом и в удобном порядке как то, что я нашел у других в их работах о движении, так и то, что я получил в результате своих размышлений».

Так откровенно и просто Эйлер рассказал историю создания своей «Механики» и

вместе с тем показал путь перехода от громоздких, геометрических методов к изящным, аналитическим. Говоря о конкретном содержании «Механики» Эйлера, следует отметить, что она появилась в те годы, когда на континенте Европы начали распространяться идеи Ньютона и борьба картезианцев и ньютоновцев была в самом разгаре. За пять лет до выхода эйлеровской «Механики» Вольтер смог четко отличить географические границы ньютоновства и картезианства: Лондон был центром ньютоновства, а Париж – картезианства. Имея в виду этот факт, Вольтер писал в «философских письмах» (1731): «Когда француз приезжает в Лондон, то находит здесь большую разницу как в философии, так и во всем другом. В Париже, из которого он приехал, думают, что мир наполнен материей, здесь же ему говорят, что он совершенно пуст; в Париже вы видите, что вся вселенная состоит из вихрей тонкой материи, в Лондоне же вы не видите ничего подобного; во Франции давление Луны производит приливы и отливы моря, в Англии же говорят, что это само море тяготеет к Луне, так что когда парижане получают от Луны прилив, то лондонские джентльмены думают, что они должны иметь отлив... У вас картезианцы говорят, что все совершается вследствие давления, и этого мы не понимаем; здесь же ньютоновцы говорят, что все совершается вследствие притяжения, которое мы не лучше понимаем. В Париже вы воображаете, что Земля у полюсов несколько удлинена, как яйцо, тогда как в Лондоне представляют ее сплюснутой, как дыня».

Воззрения картезианцев, казалось, подтверждались измерениями французских астрономов: Пикара (1620–1682) и Ж. Кассини (1677–1756). Дискуссии о форме Земли, о системе мира Декарта и Ньютона достигли широкого размаха. Только в 1733 г. вышло шесть работ, посвященных вопросу о фигуре Земли. В 1735 г. Парижская академия наук организовала экспедицию в Перу для измерения дуги меридиана в экваториальной зоне. Летом 1736 г. академия послала экспедицию в Лапландию под руководством академика Пьера Мопертюи (1698–1759). В состав этой экспедиции входил и молодой математик Алексис Клеро (1713–1765).

Экспедиция вернулась через 15 месяцев, в сентябре 1737 г., обеспечив победу теории Ньютона. Вышедший в 1743 г. классический труд Клеро «Теория фигуры Земли», где автор поставил труднейшую проблему определения фигуры равновесия вращающейся жидкости, был развитием теории Ньютона. Клеро предположил, что масса планеты первоначально была жидкой, ее частицы взаимодействовали друг с другом по ньютоновскому закону тяготения и вся масса медленно вращалась вокруг неподвижной оси. Полученные результаты имели фундаментальное значение для высшей геодезии, а сама теория Клеро получила дальнейшее развитие в трудах выдающихся математиков, начиная от современников Клеро и кончая классическими исследованиями выдающегося русского математика и механика А.М.Ляпунова.

Важным вкладом в развитие теории Ньютона были еще две работы Клеро, представленные им на премию, объявленную Петербургской Академией наук. Первая, премированная Петербургской Академией наук в 1751 г., работа Клеро называлась «Теория движения Луны, выведенная единственно из начала притяжения, обратно пропорционального квадратам расстояния». Труд Клеро был напечатан в Петербурге в 1752 г.

Весьма замечательна вторая работа Клеро, получившая премию Петербургской Академии наук в 1762 г. Эта работа была посвящена анализу движения кометы Галлея. Галлей предсказал ее возвращение в 1758 г., однако в этот год комета не появилась. Клеро предпринял новый расчет времени возвращения кометы, учитывая возмущающее действие на нее масс Юпитера и Сатурна, и предсказал ее появление весной 1759 г., допустив ошибку всего в 19 дней. «Исполнившееся предсказание Клеро, – говорил французский академик Араго, – произвело на общество более действия, нежели все хитрые доказательства философа Бейля». А Пьер Бейль (1647–1706), автор «Исторического и критического словаря», оказал бесспорно большое влияние на умы просветителей XVIII в. К.Маркс называл его отцом французского просвещения.

Борьба за теорию Ньютона развертывалась на самых разнообразных участках науки и жизни. Теория проверялась в экспедициях, в астрономических наблюдениях, в вычислениях математиков, обсуждалась в философских и научных дискуссиях, излагалась в учебниках и монографиях. «Механика» Эйлера и была первым систематическим курсом ньютоновской механики. Ее страницы еще отражали дискуссии нью-тонианцев и картезианцев. Шла ли речь о пустом абсолютном пространстве Ньютона или о материальной протяженности Декарта, о силах, существующих «сами по себе», или только о взаимодействующих реальных телах – обо всем этом картезианцы и ньюто-нианцы имели свои точки зрения. Эйлеру необходимо было присоединиться к той или другой. Для математических расчетов точка зрения ньюто-нианцев была более подходящей, и Эйлер ее принял. Так, определив движение как «перемещение тела из того места, которое оно занимало, в другое место», Эйлер определил понятие места следующим образом: «Место есть часть неизмеримого или бесконечного пространства, в котором находится весь мир. Принятое в этом смысле место обычно называют абсолютным...»

Это определение совершенно в духе ньютоновского абсолютного пространства, «вместилища» всего мира. Но Эйлер подчеркивает, что такое пространство вводится лишь для удобства математического описания. Он говорит: «То, что мы говорили здесь о безграничном и неизмеримом пространстве, должно рассматриваться как чисто математическое выражение... Ведь мы не утверждаем, что есть подобного рода бесконечное пространство... мы требуем только одного, чтобы тот, кто хочет исследовать вопрос об абсолютном движении и абсолютном покое, представил себе такое пространство и отсюда уже судил о состоянии покоя или движения тел».

Итак, Эйлер рассматривает ньютоновское абсолютное пространство как удобную математическую абстракцию, полезную для описания механического движения тел. Из других его трудов, в частности из известной научно-популярной книги «Письма к немецкой принцессе», видно, что в его физических воззрениях картезианская концепция непрерывной материальной среды занимала важное место.

Эйлер следует Ньютону и в определении основных понятий динамики – силы и массы. «Сила есть то усилие, которое переводит тело из состояния покоя в состояние движения или видоизменяет его движение». Отсюда в качестве следствия получается закон инерции: «Всякое тело, предоставленное самому себе, или пребывает в покое, или движется равномерно и прямолинейно». Эйлер заранее предупреждает читателя, что он под словами «движение» и «покой» всегда подразумевает абсолютные движение и покой. Таким образом, в приведенной формулировке закона инерции следует иметь в виду движение и покой, отнесенные к абсолютному пространству.

Эйлер неоднократно обращался к вопросу об источнике сил и считал, что таким источником является движение непроницаемых инертных тел. Основой динамики Эйлера служит теорема: «Сила q на точку b имеет то же действие, какое сила p имеет на точку a , если

$$q/p = b/a$$

«Это предложение, – указывает далее Эйлер, – заключает в себе основы для измерения силы инерции, так как на нем основывается все учение о том, как нужно учитывать материю или массу тел в механике. Следует обращать внимание на число точек, составляющих тело, которое должно быть приведено в движение, и масса тела должна быть принята пропорциональной этому числу. Эти точки надо считать равными между собой, но не так, что они равно малы, но так, что на них одна и та же сила производит равные действия. Если мы представим себе, что вся материя мира разделена на подобного рода равные точки или элементы, то количество материи по необходимости надо будет измерять числом точек, из которых оно составлено. В следующем предложении я покажу, что сила инерции пропорциональна этому числу точек или количеству материи».

Действительно, несколько ниже Эйлер формулирует предложение: «Силы инерции каждого тела пропорциональны количеству материи, из которой оно состоит». Эйлер

раскрывает знаменитое ньютоновское определение массы, вскрывает его атомистическую сущность и, подобно Ньютону, поясняет далее, что масса может быть измерена пропорциональным ей весом.

Когда Эйлер в приведенном выше основном предложении о пропорциональности сил массам употребляет выражение «точка b», «точка a», то это означает: «точка массы b», «точка массы a». («Точка массы a», очевидно, тело малых размеров, составленное из простых точек) Само же предложение означает, что действия сил одинаковы, если силы пропорциональны массам.

В современных обозначениях предложение Эйлера записывают так:

$$F_1/F_2 = m_1/m_2 = a$$

где a - одинаковое действие силы на тело, т. е. ускорение. Отсюда:

$$F_1/m_1 = a, F_2/m_2 = a,$$

или вообще:

$$F = ma.$$

В своей «Механике» Эйлер записывает основное уравнение динамики для прямолинейного движения в следующем виде:

$dc = \lambda p dt / A$ где dc - дифференциал скорости, p - сила, A - масса, λ - коэффициент пропорциональности.

Подчеркнем, что Эйлер знал векторный характер силы и принимал за ее направление ту прямую, «по которой она стремится двигать тело». В «Теории движения твердых тел» Эйлер выписывает уравнения движения тела, разлагая это движение на три прямолинейные составляющие по осям. Они в обозначениях Эйлера имеют вид:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{\lambda p}{A}, \quad \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{\lambda q}{A}, \quad \frac{d^2z}{dt^2} = \frac{\lambda r}{A},$$

где p, q, r - компоненты действующей силы по осям координат, A - масса точки, λ - коэффициент пропорциональности, определяемый выбором единиц.

Таким образом, Эйлер переформулировал основные понятия ньютоновской механики, придав им более ясную форму, сохранив, однако, сущность ньютоновских определений; выдвинул на центральное место второй, закон, сделав его стержнем всей механики и придав ему аналитическую форму. С помощью этого закона Эйлер в «Механике» рассматривает различные случаи движения свободной и несвободной точки.

В «Теории движения твердого тела» Эйлер развил механику вращательного движения, введя такие фундаментальные понятия, как главные оси, проходящие через центр инерции, по отношению к которым момент инерции имеет экстремальное значение. Свободную ось вращения Эйлер определяет как ось, которая не испытывает никакого силового воздействия при вращении тела вокруг нее.

Еще в 1758 г. Эйлер написал уравнения вращательного движения твердого тела, отнесенные к главным осям, в следующем виде:

$$A \frac{dp}{dt} = (B - C)qr + L,$$

$$B \frac{dq}{dt} = (C - A)rp + M,$$

$$C \frac{dr}{dt} = (A - B)pq + N,$$

где p, q, r - угловые скорости вращения относительно трех главных осей, жестко связанных с телом; A, B, C - главные моменты инерции; L, M, N - моменты сил, приложенных к телу, относительно тех же главных осей.

Как видим, Эйлер внес существенный вклад в развитие механики. Написанные им уравнения до сего времени «работают» в современных курсах.

В XVIII в. происходило не только преобразование методов ньютоновской механики. Этот век отмечен поисками общих принципов механики, эквивалентных законам Ньютона, или даже более общих, чем эти принципы. В результате этих поисков были открыты принципы возможных перемещений в статике, принцип Даламбера и принцип наименьшего действия Моперт-гюи – Эйлера в динамике.

Лагранж в своем труде «Аналитическая механика», излагая историю развития принципов статики, относит первые формулировки соотношений между силами, действующими в простых механизмах, и проходимыми путями к Гвидо убальдо и Галилею.

Лагранж считает, что «древние, по-видимому, не знали этого закона». Однако у Герона Александрийского встречается «золотое правило механики» в виде утверждения: «Что выигрывается в силе, то теряется в скорости». Многие историки науки считают, что это правило было известно еще Аристотелю. Эмпирически это правило, несомненно, было знакомо людям, имеющим дело с простыми механизмами, очень давно.

Принцип возможных перемещений, который Лагранж называет принципом виртуальных скоростей, был сформулирован И.Бернулли в 1717 г. в письме к Вариньону и опубликован в «Новой механике» в 1725 г. Лагранж формулирует этот принцип следующим образом:

«Если какая-либо система любого числа тел или точек, на каждую из которых действуют любые силы, находится в равновесии и если этой системе сообщить любое малое движение, в результате которого каждая точка пройдет бесконечно малый путь, представляющий ее виртуальную скорость, то сумма сил, помноженных каждая соответственно на путь, проходимый по направлению силы точкой, к которой она приложена, будет всегда равна нулю, если малые пути, проходимые в направлении сил, считать положительными, а проходимые в противоположном направлении считать отрицательными».

Лагранж доказывал этот принцип, моделируя систему сил при помощи полиспаатов и сводя действие этой системы к подъему или опусканию груза. Равновесие системы сил будет достигнуто тогда, когда при любом бесконечно малом перемещении точек системы груз не опускается. Лагранж указывал, что принцип виртуальных скоростей «дал повод для появления другого принципа, предложенного Мопертюи в 1740 г.».

История принципа П. Мопертюи также восходит к Герону, к утверждению о кратчайшем времени распространения света, которым Герон обосновал закон отражения.

Ферма применил этот принцип к преломлению света и вывел закон преломления, исходя из постулата: «Природа действует наиболее легкими и доступными путями». Свой вывод он изложил в письме к де ла Шамбру от 1 января 1662 г.

Иоганн Бернулли (1667–1748) сопоставил принцип ферма с предложенной им в 1696 г. вариационной механической задачей о линии быстрейшего ската тяжелой точки в поле тяжести (брахистохроне). Эту задачу Бернулли сформулировал так: «В вертикальной плоскости даны две точки Л и В. Определить путь АМВ, спускаясь по которому под влиянием собственной тяжести, тело М, начав двигаться из точки А, дойдет до другой точки В в кратчайшее время»

И в принципе ферма и в задаче о брахистохроне речь идет об отыскании минимального значения интеграла:

$$\int_A^B \frac{ds}{v}$$

«...Мною, – писал И. Бернулли, – открыто удивительное совпадение между кривизной луча света в непрерывно меняющейся среде и нашей брахистохронной кривой». Так впервые была подмечена оптико-механическая аналогия, сыгравшая важную роль в истории физики.

Задача о брахистохроне явилась также началом разработки нового раздела математики – вариационного исчисления. В развитии этого раздела математики основополагающую роль сыграл Эйлер, издавший в 1744 г. книгу «Метод нахождения кривых линий, обладающих свойствами максимума либо минимума, или решение изопери-метрической задачи, взятой в самом широком смысле». Эйлер впервые применил термин «вариационное исчисление». Дальнейшее развитие вариационное исчисление получило в работах Лагранжа, который ввел символ варьирования δ . Лагранж сообщил основные идеи своего метода в письме к Эйлеру еще в 1755 г. и опубликовал основополагающую статью по вариационному исчислению в 1762 г.

20 февраля 1740 г. П. Мопертюи прочитал в Парижской Академии Статью «Закон покоя». Именно об этой статье упоминал Лагранж, излагая историю принципа возможных перемещений. Мопертюи действительно ставил своей целью в этой статье найти принцип равновесия системы тел и формулировал его как экстремальный принцип для некоторой величины, которую он называл «суммой сил покоя».

Через четыре года после этого Мопертюи выступил со статьей «Согласование различных законов природы», в которой утверждал, что законы оптики являются следствием «метафизического закона», заключающегося в том, что «природа, производя свои действия, всегда пользуется наиболее простыми средствами» и что принцип ферма является принципом наименьшего действия. Свет, по мнению Мопертюи, «выбирает путь», «для которого количество действия будет наименьшим».

Мопертюи при этом поясняет, что он понимает под «количеством действия». «Это действие, – говорит он, – зависит от скорости, имеющейся у тела, и от пространства, пробегаемого последним, но оно не является ни скоростью, ни пространством, взятыми в отдельности. Количество действия тем больше, чем больше скорость тела и чем длиннее путь, пробегаемый телом; оно пропорционально сумме произведений отрезков на скорость, с которой тело проходит каждый из них».

Принцип ферма Мопертюи выражает в виде утверждения:

$$\Sigma(mvs) = \min, \text{ а не в виде:}$$

$$\Sigma(ds/v) = \min.$$

В своей книге «Метод нахождения кривых линий» Эйлер публикует статью «Об определении движения брошенных тел в не сопротивляющейся среде методом максимумов и минимумов». «Так как все явления природы, – говорит Эйлер в этой статье, – следуют какому-нибудь закону максимума или минимума, то нет никакого сомнения, что и для кривых линий, которые описывают брошенные тела, когда на них действуют какие-нибудь силы, имеет место какое-то свойство максимума или минимума». Далее Эйлер определяет это свойство конкретно. Обозначив массу движущегося тела через M , его скорость через

$$\sqrt{v},$$

пройденный путь через s , он пишет: «Теперь я утверждаю, что линия, описываемая телом, будет такова, что среди всех других линий, содержащихся между теми же пределами, у нее будет минимум

$$\int M ds \sqrt{v}$$

или, так как M постоянно,

$$\int ds \sqrt{v}.$$

Поскольку

$$ds = dt \sqrt{v},$$

то

$$\int ds \sqrt{v} = \int v dt,$$

«так что для кривой, описываемой брошенным телом, сумма всех живых сил, находящихся в теле, в отдельные моменты времени будет наименьшей». «Таким образом, – добавляет Эйлер, откликаясь на спор о двух мерах движения, – ни те, кто полагает, что силы следует оценивать по самим скоростям, ни те, кто – по квадратам скоростей, не найдут здесь ничего неприемлемого».

Спор о двух мерах движения, как известно, был разрешен Даламбером (*Математик и философ Жан Лерон за год до выхода книги Эйлера. «Трактат по динамике» Даламбера вышел в 1743 г. Даламбер строит динамику на трех принципах: принципе силы инерции, принципе сложения движений и принципе равновесия. «Силой инерции, – говорит Даламбер, – я вместе с Ньютоном называю свойство тел сохранять то состояние, в котором они находятся».*)

Действие ускоряющей силы φ , по Даламберу, пропорционально приращению скорости:

$$\varphi dt = du.$$

Но $u = de/dt$, где e – пройденный путь, отсюда:

$$d^2e = \varphi dt^2.$$

Таким образом в «Динамике» Даламбера фигурирует то же уравнение движения, что и в «Механике» Эйлера.

Второй принцип динамики Даламбера – это принцип суперпозиции движений; параллелограмм скоростей и сил. На основе этого принципа Даламбер решает задачи статики.

Третий принцип, который кладет Даламбер в основу динамики, известен ныне под названием «принцип Даламбера». Его оригинальная формулировка очень громоздка и трудно понимаема, мы ее приводить не будем. Лагранж в своей «Аналитической динамике» дает такую формулировку принципа Даламбера: «Если нескольким телам сообщить движения, которые они вынуждены изменить вследствие наличия взаимодействия между ними, то ясно, что эти движения можно рассматривать как составленные из тех движений, которые тела фактически получают, и из других движений, которые уничтожаются; отсюда следует, что эти последние должны быть такими, что если бы тела находились исключительно под их действием, то они бы взаимно друг друга уравновесили». Приведем более современную формулировку принципа Даламбера, как она была дана знаменитым русским механиком Н.Е. Жуковским в его «Курсе теоретической механики»: «В своем «Трактате динамики» Даламбер установил общие начала, которые позволяют задачу о движении свести к вопросам о равновесии и найти связь между действующими силами, ускорениями и силами давления, натяжения и т. д. – связь, которая имеет место при рассматриваемом движении. Это достигается введением в систему действующих сил некоторых фиктивных сил, именно сил инерции. Начало Даламбера может быть сформулировано таким образом. Если в какой-нибудь момент времени остановить

движущуюся систему и прибавить к ней, кроме сил, ее движущих, еще все силы, инерции, соответствующие данному моменту времени, то будет иметь место равновесие; при этом все силы давления, натяжения и т. д., которые развиваются между частями системы при таком равновесии, будут действительные силы давления, натяжения и т. д. при движении системы в рассматриваемый момент времени». Таким образом, к 1744 г. механика обогатилась двумя важными принципами; принципом Даламбера и принципом наименьшего действия Мопертюи – Эйлера. Основываясь на этих принципах, Лагранж построил законченную систему аналитической механики.

Он окончательно порвал с геометрическими методами Ньютона и с гордостью заявлял, что в его «Аналитической механике» совершенно отсутствуют какие бы то ни было чертежи. «Я поставил себе целью, – пишет Лагранж в предисловии к своему труду, – свести теорию механики и методы решения связанных с нею задач к общим формулам, простое развитие которых дает все уравнения, необходимые для решения каждой задачи».

Жозеф Луи Лагранж родился 25 января 1736 г. в Турине. Он рано начал интересоваться математическими науками и уже в 18 лет получил самостоятельные результаты в области дифференциального, интегрального и вариационного исчисления. В 19 лет он стал профессором артиллерийской школы в Турине. Здесь он организовал ученое общество, развившееся в известную Туринскую академию, в печатном органе которой Лагранж публиковал свои мемуары, привлекая внимание тогдашних математиков. Через пять лет, в 1759 г., двадцатитрехлетний Лагранж по представлению Эйлера был избран членом Берлинской Академии наук.

В 1766 г. он в связи с отъездом Эйлера заменял его на посту президента физико-математического класса Берлинской Академии наук и оставался на этом посту до 1787 г. В 1788 г. накануне Великой французской революции Лагранж переезжает в Париж, в этом же году выходит его труд «Аналитическая механика», изданный в Париже на французском языке.

После революции Лагранж был назначен председателем Комиссии по установлению метрической системы мер. С момента организации Нормальной и Политехнической школ Лагранж вел в них педагогическую работу и немало способствовал укреплению авторитета Политехнической школы как ведущего научного центра математических наук.

Умер Лагранж 10 апреля 1813 г.

«Аналитическая механика» Лагранжа состоит из двух основных разделов: статики и динамики. Каждому из этих разделов предпосылается вводная глава, содержащая анализ общих принципов статики и динамики. Лагранж определяет статику как науку о равновесии сил и дает определение силы как «любой причины», «которая сообщает или стремится сообщить движение телам». Лагранж указывает, что статика основана на трех принципах; принципе рычага, принципе сложения сил и принципе виртуальных скоростей. Затем он переходит к изложению истории развития этих принципов. Охарактеризовав принцип рычага Архимеда, он кратко показывает его развитие Стевином, Галилеем и Гюйгенсом. Лагранж считает доказательство Гюйгенса остроумным, но недостаточным и дает свое доказательство. Равновесие рычага сводится к принципу моментов, причем под моментом «понимают произведение силы на плечо, на которое она действует».

В кратком историческом обзоре Лагранж показывает, как развивается и уточняется научная идея. Его собственные доказательства появляются как итог этого исторического развития. Таково его знаменитое доказательство принципа виртуальных скоростей, т. е. принципа возможных перемещений, история которого значительно короче, чем история принципа рычага.

Исторический подход Лагранжа к механике очень интересен и ценен. Лагранж не только разработал аналитические методы классической механики, но и явился первым историком механики. Следует отметить, что в XVIII и первой половине XIX в. исторический подход к научным проблемам был весьма распространен; история помогала глубже осознавать рождающиеся идеи, уточнять и совершенствовать их. Так было в механике, так

было в электричестве и оптике.

В главе «О различных принципах динамики» Лагранж определяет динамику как науку «об ускоряющих и замедляющих силах и о переменных движениях, которые они должны вызвать».

В основу динамики Лагранж кладет принцип наименьшего действия, который формулирует следующим образом: «При движении любой системы тел, находящихся под действием взаимных сил притяжения, или сил, направленных к неподвижным центрам и пропорциональных каким-либо функциям расстояний, кривые, описываемые различными телами, а равно их скорости необходимо таковы, что сумма произведений отдельных масс на интеграл скорости, умноженный на элемент кривой, является максимумом или минимумом – при условии, что первые и последние точки каждой кривой рассматриваются как заданные, так что вариации координат, соответствующих этим точкам, равны нулю».

Используя принцип наименьшего действия, Лагранж получает для описания движения любой системы материальных точек общую формулу:

$$Sm \left(\frac{d^2x}{dt^2} \delta x + \frac{d^2y}{dt^2} \delta y + \frac{d^2z}{dt^2} \delta z \right) + S'm (P \delta p + Q \delta q + R \delta r + \dots) = 0,$$

где S - знак суммы; m - масса каждого из тел (точек) системы; x, y, z - координаты тела (точки); P, Q, R, ... – заданные ускоряющие силы, действующие на единицу массы по направлению соответствующих центров; p, q, r, ... – расстояния тел (точек) от этих центров; δp , δq , δr , ... – вариации этих расстояний.

Из этой общей формулы Лагранж выводит законы и уравнения движения системы. Закон движения центра тяжести он формулирует так: «Движение центра тяжести системы свободных тел, расположенных одно по отношению к другому совершенно произвольным образом, всегда таково, как если бы все тела были сосредоточены в одной точке и если бы в то же время каждое из них находилось под действием тех же ускоряющих сил, под влиянием которых оно находится в своем действительном состоянии». Аналитически эта теорема записывается Лагранжем в следующем виде:

$$\frac{d^2x'}{dt^2} Sm + SmX = 0,$$

$$\frac{d^2y'}{dt^2} Sm + SmY = 0,$$

$$\frac{d^2z'}{dt^2} Sm + SmZ = 0,$$

где x', y', z' – координаты центра тяжести.

Теорему площадей для центральных сил Лагранж записывает в следующем виде:

$$Sm\left(x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt}\right) = C,$$

$$Sm\left(z \frac{dx}{dt} - x \frac{dz}{dt}\right) = B,$$

$$Sm\left(y \frac{dz}{dt} - z \frac{dy}{dt}\right) = A,$$

где А, В, С – произвольные постоянные. Принцип сохранения живых сил Лагранж выражает в виде:

$$Sm\left[\frac{1}{2}\left(\frac{dx^2}{dt^2} + \frac{dy^2}{dt^2} + \frac{dz^2}{dt^2}\right) + \Pi\right] = H,$$

где Н обозначает произвольную постоянную, равную значению левой части уравнения в заданное мгновение; Π – функция, дифференциал которой равен:

$$d\Pi = Pdp + Qdq + Rdr + \dots,$$

т. е., по современным представлениям, равен элементарной работе движущих сил; однако Лагранж термина «работа» не знал, равно как и термина «энергия». Написанную выше формулу, выражающую закон сохранения энергии для консервативных сил, Лагранж называет принципом сохранения живых сил.

Далее Лагранж выводит дифференциальные уравнения движения системы. Мы их выпишем в более привычной форме. Если уравнения связей системы: $\varphi_1 = 0, \varphi_2 = 0, \dots, \varphi_k = 0$, то уравнения Лагранжа первого рода имеют вид:

$$m_r \frac{d^2 x_r}{dt^2} = X_r + \lambda_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_r} + \lambda_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial x_r} + \dots + \lambda_k \frac{\partial \varphi_k}{\partial x_r},$$

$$m_r \frac{d^2 y_r}{dt^2} = Y_r + \lambda_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial y_r} + \lambda_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial y_r} + \dots + \lambda_k \frac{\partial \varphi_k}{\partial y_r},$$

$$m_r \frac{d^2 z_r}{dt^2} = Z_r + \lambda_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial z_r} + \lambda_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial z_r} + \dots + \lambda_k \frac{\partial \varphi_k}{\partial z_r}.$$

Лагранж делает следующий важный шаг: он вводит новые переменные, «пользование которыми может максимально облегчить интегрирование». Эти «обобщенные координаты» соответствуют числу «степеней свободы», т. е. числу тех независимых параметров, которые

полностью характеризуют систему. Применяя метод наименьшего действия, Лагранж получает уравнения:

$$d \frac{\delta T}{\delta d\xi} - \frac{\delta T}{\delta \xi} + \frac{\delta V}{\delta \xi} = 0,$$

$$d \frac{\delta T}{\delta d\psi} - \frac{\delta T}{\delta \psi} + \frac{\delta V}{\delta \psi} = 0,$$

$$d \frac{\delta T}{\delta d\varphi} - \frac{\delta T}{\delta \varphi} + \frac{\delta V}{\delta \varphi} = 0,$$

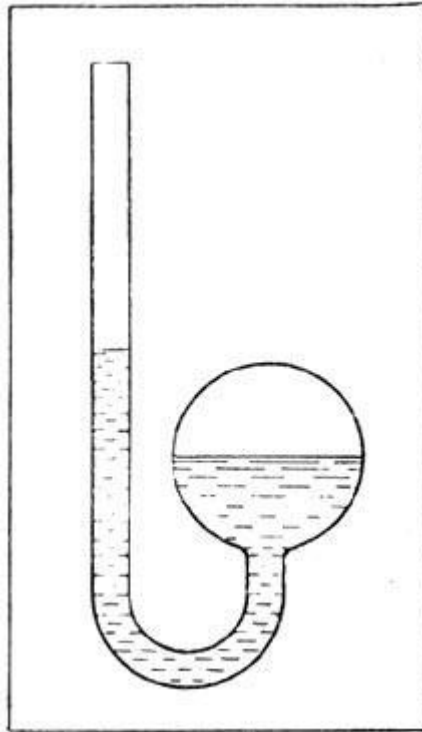


Рис. 23. Воздушный термометр Амонтона

Число уравнений «в точности равно числу переменных, Φ , ..., от которых зависит положение системы в каждое мгновение». Сейчас обобщенные координаты обозначают символом, потенциальную энергию – символом U , сохраняя для кинетической энергии обозначение Лагранжа T . Тогда, введя функцию $T - U$, которую в честь Лагранжа обозначают L , его уравнения записывают так:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_s} = 0.$$

В современной теоретической физике уравнения Лагранжа приобрели огромное значение, далеко выходящее за пределы механики. Они применяются в термодинамике, электродинамике, атомной физике. Таким образом, Лагранж создал мощный метод, позволяющий решать большой круг задач.

Ирландский математик, механик и астроном У.Р.Гамильтон, оценивая вклад, внесенный Лагранжем в развитие механики после Галилея и Ньютона, писал: «Из числа

последователей этих блестящих ученых Лагранж, пожалуй, больше, чем какой-либо другой аналитик, сделал для того, чтобы расширить и придать стройность подобным дедуктивным исследованиям, доказав, что самые разнообразные следствия, относящиеся к движению системы тел, могут быть выведены из одной основной формулы. При этом красота метода настолько соответствует достоинству результата, что эта великая работа превращается в своего рода математическую поэму». Этой поэмой завершился плодотворный период разработки основ теоретической механики.

Молекулярная физика и теплота в XVIII столетии

Если механика в XVIII столетии становится зрелой, вполне определившейся областью естествознания, то наука о теплоте делает по существу только первые шаги. Конечно, новый подход к изучению тепловых явлений наметился еще в XVII в. Термоскоп Галилея и последовавшие за ним термометры флорентийских академиков, Герики, Ньютона подготовили почву, на которой выросла уже в первой четверти нового столетия термометрия. Термометры Фаренгейта, Делиля, Ломоносова, Реомюра и Цельсия, отличаясь друг от друга конструктивными особенностями, вместе с тем определили тип термометра с двумя постоянными точками, принятый и в настоящее время.

Еще в 1703 г. парижский академик Амонтон (1663-1705) сконструировал газовый термометр, в котором температура определялась с помощью манометрической трубки, присоединенной к газовому резервуару постоянного объема. Интересный в теоретическом отношении прибор, прототип современных водородных термометров, был неудобен для практических целей. Данцигский (Гданьский) стеклодув Фаренгейт (1686–1736) с 1709 г. изготавливал спиртовые термометры с постоянными точками. С 1714 г. он начал изготавливать ртутные термометры. Точку замерзания воды Фаренгейт принимал за 32° , точку кипения воды – за 212° . За нуль Фаренгейт принимал точку замерзания смеси воды, льда и нашатыря или поваренной соли. Точку кипения воды он назвал только в 1724 г. в печатной публикации. Пользовался ли он ею раньше, неизвестно.

Французский зоолог и металлург Реомюр (1683–1757) предложил термометр с постоянной нулевой точкой, за которую он принял температуру замерзания воды. Пользуясь в качестве термометрического тела 80-процентным раствором спирта, а в окончательном варианте ртутью, он принял в качестве второй постоянной точки точку кипения воды, обозначив ее числом 80. Свой термометр Реомюр описывал в статьях, опубликованных в журнале Парижской Академии наук в 1730, 1731 гг.

Проверку термометра Реомюра проводил шведский астроном Цельсий (1701–1744), описавший свои опыты в 1742 г. «Эти опыты, – писал он, – я повторял два года, во все зимние месяцы, при различной погоде и разнообразных изменениях состояния барометра и всегда находил точно такую же точку на термометре. Я помещал термометр не только в тающий лед, но также при сильных холодах приносил снег в мою комнату на огонь до тех пор, пока он не начинал таять. Я помещал также котел с тающим снегом вместе с термометром в топящуюся печь и всегда находил, что термометр показывал одну и ту же точку, если только снег лежал плотно вокруг шарика термометра». Тщательно проверив постоянство точки плавления льда, Цельсий исследовал точку кипения воды и установил, что она зависит от давления. В итоге исследований появился новый термометр, известный ныне как термометр Цельсия. Точку плавления льда Цельсий принял за 100, точку кипения воды при давлении 25 дюймов 3 линии ртутного столба – за 0. Известный шведский ботаник Карл Линней (1707–1788) пользовался термометром с переставленными значениями постоянных точек. О означал температуру плавления льда, 100 – температуру кипения воды. Таким образом, современная шкала Цельсия по существу является шкалой Линнея.

В Петербургской Академии наук академик Делиль предложил шкалу, в которой точка плавления льда принималась за 150, а точка кипения воды – за 0. Академик П. С. Паллас в своих экспедициях 1768–1774 гг. по Уралу и Сибири пользовался термометром Делиля.

М.В.Ломоносов применял в исследованиях сконструированный им термометр со шкалой, обратной делителейской.

Термометры использовались прежде всего для метеорологических и геофизических целей. Ломоносов, открывший в атмосфере существование вертикальных течений, изучая зависимость плотности слоев атмосферы от температуры, приводит данные, из которых можно определить коэффициент объемного расширения воздуха, равный, по этим данным, приблизительно $1/367$. Ломоносов горячо защищал приоритет петербургского академика Брауна в открытии точки замерзания ртути, который 14 декабря 1759 г. впервые заморозил ртуть с помощью охлаждающих смесей. Это была наинизшая температура, достигнутая к тому времени.

Наивысшие температуры (без количественных оценок) были получены в 1772 г. комиссией Парижской Академии наук под руководством знаменитого химика Лавуазье. Высокие температуры получали с помощью специально изготовленной линзы. Линзу собирали из двух вогнуто-выпуклых чечевиц, пространство между которыми заливали спиртом. В линзу диаметром 120 см заливали около 130 л спирта, ее толщина достигала в центре 16 см. фокусируя солнечные лучи, удалось расплавить цинк, золото, сжечь алмаз. Как в опытах Брауна–Ломоносова, где «холодильником» был зимний воздух, так и в опытах Лавуазье источником высоких температур служила естественная «печка» – Солнце.

Развитие термометрии было первым научным и практическим использованием теплового расширения тел. Естественно, что само явление теплового расширения начало изучаться не только качественно, но и количественно. Первые точные измерения теплового расширения твердых тел были выполнены Лавуазье и Лапласом в 1782 г. Их метод долгое время описывался в курсах физики, начиная с курса Био, 1819 г., и кончая курсом физики О. Д.Хвольсона, 1923 г.

Полосу испытуемого тела помещали сначала в тающий лед, а затем в кипящую воду. Были получены данные для стекла различных сортов, стали и железа, а также для разных сортов золота, меди, латуни, серебра, олова, свинца. Ученые установили, что в зависимости от способа приготовления металла результаты получаются различными. Полоса из незакаленной стали увеличивается на 0,001079 первоначального значения длины при нагревании на 100° , а из закаленной стали – на 0,001239. Для кованого железа было получено значение 0,001220, для круглого тянутого 0,001235. Эти данные дают представление о точности метода.

Итак, уже в первой половине XVIII столетия были созданы термометры и начались количественные тепловые измерения, доведенные до высокой степени точности в теплофизических опытах Лапласа и Лавуазье. Однако основные количественные понятия теплофизики выкристаллизовались не сразу. В трудах физиков того времени существовала немалая путаница в таких понятиях, как «количество теплоты», «степень теплоты», «градус теплоты». На необходимость различать понятия температуры и количества тепла указал в 1755 г. И.Г.Ламберт (1728–1777). Однако его указание не было оценено современниками, и выработка правильных понятий проходила медленно.

Первые подступы к калориметрии содержатся в трудах петербургских академиков Г. В. Крафта и Г. В.Рихмана (1711–1753). В статье Крафта «Различные опыты с теплом и холодом», представленной Конференции академии в 1744 г. и опубликованной в 1751 г., речь идет о задаче определения температуры смеси двух порций жидкости, взятых при разных температурах. Эта задача в учебниках нередко именовалась «задачей Рихмана», хотя Рихман решал более общую и более сложную задачу, чем Крафт. Крафт для решения задачи дал неверную эмпирическую формулу.

Совсем иной подход к решению задачи мы находим у Рихмана. В статье «Размышления о количестве теплоты, которое должно получаться при смешении жидкостей, имеющих определенные градусы теплоты», опубликованной в 1750 г., Рихман ставит задачу определения температуры смеси нескольких (а не двух, как у Крафта) жидкостей и решает ее, исходя из принципа теплового баланса. «Предположим, – говорит Рихман, – что масса

жидкости равна a ; теплота, распределенная в этой массе, равна t ; другая масса, в которой должна быть распределена та же самая теплота t , что и в массе a , пусть будет равна $a+b$. Тогда получающаяся теплота равна $am/(a+b)$. Здесь Рихман под «теплотой» понимает температуру, но сформулированный им принцип, что «одна и та же теплота бывает обратно пропорциональна массам, по которым она распределяется», является чисто калориметрическим. «Таким образом, – пишет далее Рихман, – теплота массы a , равная t , и теплота массы b , равная p , равномерно распределяются по массе $a + b$, и теплота в этой массе, т. е. в смеси из a и b , должна равняться сумме теплот $t + p$, распределенных в массе $a+b$, или равна $(ma+nb)/(a+b)$. Вот эта формула и фигурировала в учебниках как «формула Рихмана». «Чтобы получить более общую формулу, – продолжает Рихман, – по которой возможно было бы определять градус теплоты при смешении 3, 4, 5 и т. д. масс одной и той же жидкости, имеющих различные градусы теплоты, я назвал эти массы a, b, c, d, e и т. д., а соответствующие теплоты – t, p, o, r, q и т. д. Совершенно аналогичным образом я предположил, что каждая из них распределяется по совокупности всех масс». В результате «теплота после смешивания всех теплых масс равна:

$(am + bp + co + dp + eq)$ и т. д./ $(a + b + c+d + e)$ и т. д.

т. е. сумма жидких масс, по которой при смешивании равномерно распределяется теплота отдельных масс, относится к сумме всех произведений каждой массы на ее теплоту так же, как единица к теплоте смеси».

Рихман еще не владел понятием количества теплоты, но написал и логически обосновал совершенно правильную калориметрическую формулу. Он без труда обнаружил, что его формула лучше согласуется с опытом, чем формула Крафта. Он правильно установил, что его «теплоты» представляют собой «не действительную теплоту, а избыток теплоты смеси в сравнении с нулем градусов по Фаренгейту». Он совершенно ясно понимал, что: 1. «Теплота смеси распределяется не только по самой ее массе, но и по стенкам сосуда и самому термометру». 2. «Собственная теплота термометра и теплота сосуда распределяются и по смеси, и по стенкам сосуда, в котором находится смесь, и по термометру». 3. «Часть теплоты смеси, в течение того промежутка времени, пока производится опыт, переходит в окружающий воздух...»

Рихман точно сформулировал источники ошибок калориметрических опытов, указал причины расхождения формулы Крафта с опытом, т. е. заложил основы калориметрии, хотя сам еще не подошел к понятию количества теплоты. Дело Рихмана продолжили шведский академик Иоганн Вильке (1732–1796) и шотландский химик Джозеф Блэк (1728–1799). И тот и другой ученый, опираясь на формулу Рихмана, нашли необходимым ввести в науку новые понятия. Вильке, исследуя в 1772 г. теплоту смеси воды и снега, обнаружил, что часть теплоты исчезает. Отсюда он пришел к понятию скрытой теплоты таяния снега и к необходимости введения нового понятия, получившего в дальнейшем название «теплоемкость».

К этому же выводу пришел и Блэк, не опубликовавший своих результатов. Его исследования были напечатаны только в 1803 г., и тогда стало известно, что Блэк первым четко разграничил понятия количества теплоты и температуры, первым ввел термин «теплоемкость». Еще в 1754–1755 гг Блэк открыл не только постоянство точки плавления льда, но и то, что термометр остается при одной и той же температуре, несмотря на приток тепла, до тех пор, пока весь лед не растает. Отсюда Блэк пришел к понятию скрытой теплоты плавления. Позже он установил понятие скрытой теплоты испарения. Таким образом, к 70-М годам XVIII столетия были установлены основные калориметрические понятия. Лишь спустя почти сто лет (в 1852 г.) была введена и единица-количества теплоты, получившая значительно позже название «калория». (*Еще Клаузиус говорит просто о единице теплоты и не пользуется термином «калория».*)

В 1777 г. Лавуазье и Лаплас, построив ледяной калориметр, определили удельные теплоемкости различных тел. Аристотелевское первичное качество–тепло стало изучаться методом точного эксперимента.

Появились и научные теории теплоты. Одна, наиболее распространенная концепция (ее придерживался и Блэк) – это теория особой тепловой жидкости – теплорода. Другая, ревностным сторонником которой был Ломоносов, рассматривала теплоту как род движения «нечувствительных частиц». Концепция теплорода очень хорошо подходила к описанию калориметрических фактов: формула Рихмана и более поздние формулы, учитывающие скрытые теплоты, прекрасно могли быть объяснены. В результате теория теплорода господствовала до середины XIX в., когда открытие закона сохранения энергии заставило физиков вернуться к концепции, успешно разрабатываемой Ломоносовым еще за сто лет до открытия этого закона.

Представление о том, что теплота является формой движения, было очень распространенным в XVII в. ф. Бэкон в «Новом органоне», применяя свой метод к исследованию природы теплоты, приходит к выводу, что «тепло есть движение распространения, затрудненное и происходящее в малых частях». Более конкретно и ясно о теплоте как о движении малых частиц высказывается Декарт. Рассматривая природу огня, он приходит к выводу, что «тело пламени... составлено из мельчайших частиц, очень быстро и бурно движущихся отдельно одна от другой». Далее он указывает, что «только это движение в зависимости от различных производимых им действий называется то теплом, то светом». Переходя к остальным телам, он констатирует, «что маленькие частицы, не прекращающие своего движения, имеются не в одном только огне, но также во всех остальных телах, хотя в последних их действие не столько сильно, а вследствие своей малой величины сами они не могут быть замечены ни одним из наших чувств».

Атомизм господствовал в физических воззрениях ученых и мыслителей XVII в. Гук, Гюйгенс, Ньютон представляли все тела Вселенной состоящими из мельчайших частичек, «нечувствительных», как их кратко называл позднее Ломоносов. Понятие о теплоте как форме движения этих частиц казалось ученым вполне разумным. Но эти представления о теплоте носили качественный характер и возникли на очень скудной фактической основе. В XVIII в. знания о тепловых явлениях сделались более точными и определенными, большие успехи сделала также химия, в которой теория флогистона до открытия кислорода помогала разобраться в процессах горения и окисления. Все это способствовало усвоению новой точки зрения на теплоту как особую субстанцию, и первые успехи калориметрии укрепили позиции сторонников теплорода. Нужно было большое научное мужество, чтобы разрабатывать в этой обстановке кинетическую теорию теплоты.

Кинетическая теория теплоты естественно сочеталась с кинетической теорией материи, и прежде всего воздуха и паров. Газы (слово «газ» было введено Ван Гельмонтом; 1577–1644) по существу еще не были открыты, а пар даже Лавуазье рассматривал как соединение воды и огня. Сам Ломоносов, наблюдая растворение железа в крепкой водке (азотной кислоте), считал выделяющиеся пузырьки азота воздухом. Таким образом, воздух и пар были почти единственными во времена Ломоносова газами – «упругими жидкостями», по тогдашней терминологии.

Д. Бернулли в своей «Гидродинамике» представлял воздух состоящим из частиц, движущихся «чрезвычайно быстро в различных направлениях», и считал, что эти частицы образуют «упругую жидкость». Бернулли обосновывал своей моделью «упругой жидкости» закон Бойля – Мариотта. Он установил связь между скоростью движения частиц и нагреванием воздуха и объяснил тем самым увеличение упругости воздуха при нагревании. Это была первая в истории физики попытка истолковать поведение газов движением молекул, попытка несомненно блестящая, и Бернулли вошел в историю физики как один из основателей кинетической теории газов.

Спустя шесть лет после выхода «Гидродинамики» Ломоносов представил в Академическое собрание свою работу «Размышления о причине теплоты и холода». Она была опубликована только через шесть лет, в 1750 г., вместе с другой, более поздней работой «Опыт теории упругости воздуха». Таким образом, теория упругости газов Ломоносова неразрывно связана с его теорией теплоты и опирается на последнюю.

Д. Бернулли также уделял большое внимание вопросам теплоты, в частности вопросу зависимости плотности воздуха от температуры. Не ограничиваясь ссылкой на опыты Амонтонна, он пытался сам экспериментально определить зависимость упругости воздуха от температуры. «Я нашел, – пишет Бернулли, – что упругость воздуха, который здесь в Петербурге был весьма холодным 25 декабря 1731 г. ст. ст., относится к упругости такого же воздуха, обладающего теплотой, общей с кипящей водой, как 523 к 1000». Это значение у Бернулли явно неверное, так как оно предполагает, что температура холодного воздуха соответствует -78°C .

Значительно точнее аналогичные расчеты у Ломоносова, о которых упоминалось выше. Зато весьма замечателен окончательный результат Бернулли, что «упругости находятся в отношении, составленном из квадрата скоростей частиц и первой степени плотностей», всецело соответствующей основному уравнению кинетической теории газов в современном изложении.

Бернулли совершенно не касался вопроса о природе теплоты, являющегося центральным в теории Ломоносова. Ломоносов выдвигает гипотезу, что теплота – это форма движения нечувствительных частиц. Он рассматривает возможный характер этих движений: поступательное движение, вращательное и колебательное – и утверждает, что «теплота состоит во внутреннем вращательном движении связанной материи».

Приняв в качестве исходной посылки гипотезу о вращательном движении молекул как причине тепла, Ломоносов выводит отсюда ряд следствий: 1) молекулы (корпускулы) имеют шарообразную форму; 2) «...при более быстром вращении частиц связанной материи теплота должна увеличиваться, а при более медленном – уменьшаться; 3) частицы горячих тел вращаются быстрее, более холодных – медленнее; 4) горячие тела должны охлаждаться при соприкосновении с холодным, так как оно замедляет теплотворное движение частиц; наоборот, холодные тела должны нагреваться вследствие ускорения движения при соприкосновении». Таким образом, наблюдающийся в природе переход теплоты от горячего тела к холодному является подтверждением гипотезы Ломоносова.

Тот факт, что Ломоносов выделил теплопередачу в число главных следствий, очень существен, и некоторые авторы усматривают в этом основании причислить Ломоносова к открывателям второго закона термодинамики. Вряд ли, однако, приведенное положение может рассматриваться как первичная формулировка второго начала, но вся работа в целом, несомненно, является первым наброском термодинамики. Так, Ломоносов объясняет в ней образование теплоты при трении, послужившее экспериментальной основой первого начала в классических опытах Джоуля. Ломоносов далее, касаясь вопроса о переходе теплоты от горячего тела к холодному, ссылается на следующее положение: «Тело А, действуя на тело В, не может придать последнему большую скорость движения, чем какую имеет само». Это положение является конкретным случаем «всеобщего закона сохранения». Исходя из этого положения, он доказывает, что холодное тело В, погруженное в теплую жидкость А, «очевидно, не может воспринять большую степень теплоты, чем какую имеет Л».

Вопрос о тепловом расширении Ломоносов откладывает «до другого раза», до рассмотрения упругости воздуха. Его термодинамическая работа непосредственно примыкает, таким образом, к его более поздней работе об упругости газов. Однако, говоря о намерении отложить рассмотрение теплового расширения «до другого раза», Ломоносов здесь же указывает, что поскольку верхнего предела скорости частиц нет (теория относительности еще не существует!), то нет и верхнего предела температуры. Но «по необходимости должна существовать наибольшая и последняя степень холода, которая должна состоять в полном прекращении вращательного движения частиц». Ломоносов, следовательно, утверждает существование «последней степени холода» – абсолютного нуля.

В заключение Ломоносов критикует теорию теплорода, которую считает рецидивом представления древних об элементарном огне. Разбирая различные явления, как физические, так и химические, связанные с выделением и поглощением тепла, Ломоносов заключает, что «нельзя приписывать теплоту тел сгущению какой-то тонкой, специально для того

предназначенной материи, но что теплота состоит во внутреннем вращательном движении связанной материи нагретого тела». Под «связанной» материей Ломоносов понимает материю частиц тел, отличая ее от «протекающей» материи, которая может протекать, «подобно реке», через поры тела.

Вместе с тем Ломоносов включает в свою термодинамическую систему и мировой эфир, далеко опережая не только свое время, но и XIX век. «Тем самым, – продолжает Ломоносов, – мы не только говорим, что такое движение и теплота свойственны и той тончайшей материи эфира, которой заполнены все пространства, не содержащие чувствительных тел, но и утверждаем, что материя эфира может сообщать полученное от солнца теплотворное движение нашей земле и остальным телам мира и их нагревать, являясь той средой, при помощи которой тела, отдаленные друг от друга, сообщают теплоту без посредничества чего-либо осязаемого».

Итак, Ломоносов задолго до Больцмана, Голицына и Вина включил тепловое излучение в термодинамику. Термодинамика Ломоносова – замечательное достижение научной мысли XVIII века, далеко опередившее свое время.

Возникает вопрос: почему же Ломоносов отказался рассматривать как тепловое поступательное движение частиц, а остановился на вращательном движении? Это предположение очень ослабило его работу, и теория Д. Бернулли значительно ближе подошла к позднейшим исследованиям Клаузиуса и Максвелла, чем теория Ломоносова. На этот счет у Ломоносова были весьма глубокие соображения. Ему надо было объяснить такие противоречащие друг другу вещи, как сцепление и упругость, связанность частиц тела и способность тел к расширению. Ломоносов был ярким противником дальнодействующих сил и не мог прибегать к ним при рассмотрении молекулярного строения тел. Он не хотел также сводить объяснение упругости газов к упругим ударам частиц, т. е. объяснять упругость упругостью. Он искал механизм, который позволил бы объяснить и упругость и тепловое расширение наиболее естественным образом. В работе «Опыт теории упругости воздуха» он отвергает гипотезу упругости самих частиц, которые, по Ломоносову, «лишены всякого физического сложения и организованного строения...» и являются атомами. Поэтому свойство упругости проявляют не единичные частицы, не имеющие какой-либо физической сложности и организованного строения, но производит совокупность их. Итак, упругость газа (воздуха), по Ломоносову, является «свойством коллектива атомов». Сами атомы, по Ломоносову, «должны быть телесными и иметь протяжение», форму их он считает «весьма близкой» к шарообразной. Явление возникновения теплоты при трении заставляет его принять гипотезу, что «воздушные атомы шероховаты». Тот факт, что упругость воздуха пропорциональна плотности, заставляет Ломоносова заключить, «что она происходит от какого-то непосредственного взаимодействия его атомов». Но атомы, по Ломоносову, не могут действовать на расстоянии, а действуют только при контакте. Сжимаемость воздуха доказывает наличие в нем пустых промежутков, которые делают невозможным взаимодействие атомов. Отсюда Ломоносов приходит к динамической картине, когда взаимодействие атомов сменяется во времени образованием пустого пространства между ними, а пространственное разделение атомов сменяется контактом. «Итак, очевидно, что отдельные атомы воздуха, в беспорядочном чередовании, сталкиваются с ближайшими через нечувствительные промежутки времени, и когда одни находятся в соприкосновении, иные друг от друга отскакивают и наталкиваются на ближайшие к ним, чтобы снова отскочить; таким образом, непрерывно отталкиваемые друг от друга частыми взаимными толчками, они стремятся рассеяться во все стороны». Ломоносов в этом рассеянии во все стороны и видит упругость. «Сила упругости состоит в стремлении воздуха распространиться во все стороны».

Надо, однако объяснить, почему атомы при взаимодействии отскакивают друг от друга. Причина этому, согласно Ломоносову, тепловое движение: «Взаимодействие атомов воздуха обусловлено только теплотою». А так как теплота состоит во вращательном движении частиц, то для объяснения их отталкивания достаточно рассмотреть, что

произойдет, когда соприкасаются две вращающиеся шарообразные шероховатые частицы. Ломоносов показывает, что они оттолкнутся друг от друга, и иллюстрируют это хорошо известным ему с детских Лет примером отскакивания волчков («кубарей»), которые пускают мальчишки на льду. Когда такие вращающиеся волчки соприкасаются, они отскакивают друг от друга на значительные расстояния. Таким образом, упругие столкновения атомов, по Ломоносову, обусловлены взаимодействием их вращательных моментов. Вот для чего ему понадобилась гипотеза теплового вращательного движения частиц! Тем самым Ломоносов полностью обосновал модель упругого газа, состоящего из хаотически движущихся и соударяющихся частиц.

Эта модель позволила Ломоносову не только объяснить закон Бойля – Мариотта, но и предсказать отступления от него при больших сжатиях. Объяснение закона и отступлений от него дано Ломоносовым в труде «Прибавление к размышлениям об упругости воздуха», напечатанном в том же томе «Новых Комментариев» Петербургской Академии наук, в котором были напечатаны и две предыдущие работы. В работах Ломоносова встречаются и неверные утверждения, вполне объясняемые уровнем знаний того времени. Но не они определяют значение работ ученого. Нельзя не восхищаться смелостью и глубиной научной мысли Ломоносова, создавшего в младенческую пору науки о теплоте мощную теоретическую концепцию, далеко опередившую эпоху. Современники не пошли по пути Ломоносова, в теории теплоты, как было сказано, воцарился теплород, физическое мышление XVIII столетия требовало различных субстанций: тепловых, световых, электрических, магнитных. Обычно в этом усматривается метафизический характер мышления естествоиспытателей XVIII в., некоторая его реакционность. Но почему же оно стало таким? Думается, что причина этого кроется в прогрессе точного естествознания. В XVIII в. научились измерять теплоту, свет, электричество, магнетизм. Для всех этих агентов были найдены меры, так же как они были найдены давным-давно для обычных масс и объемов. Этот факт сближал невесомые агенты с обычными массами и жидкостями, вынуждал рассматривать их как аналог обычных жидкостей. Концепция «невесомых» была необходимым этапом в развитии физики, она позволила глубже проникнуть в мир тепловых, электрических и магнитных явлений. Она способствовала развитию точного эксперимента, накоплению многочисленных фактов и их первичной интерпретации.

Оптика

Учение о теплоте развивалось в XVIII в. в тесной связи с химией и оптикой. Огонь, как известно, дает тепло и свет, вызывает химические превращения.

Все это заставляло ученых искать взаимосвязи между тепловыми, химическими и световыми явлениями. Ломоносов был решительным противником теплорода, но он не мог отрицать тесной взаимосвязи между светом и химическим строением тела. Его «Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющее», прочитанное им на академическом собрании 1 июля 1756 г., содержит теорию цветов, непосредственно связанную с тогдашними химическими представлениями. Согласно воззрениям Ломоносова, свет представляет собой волновое движение эфира. Цвета же обусловлены существованием трех сортов частиц эфира, соответствующих трем химическим материям: соляной, серной и ртутной. «Я заметил, – говорит Ломоносов, – и чрез многие годы многими прежде догадками, а после доказательными опытами с довольною вероятностью утвердился, что три рода эфирных частиц имеют совмещение с тремя родами действующих первоначальных частиц, чувствительные тела составляющих, а именно: первой величины эфир с соляною, второй величины со ртутною, третьей величины с серною или горячею первоначальною материею; а с чистою землею, с водою и воздухом совмещение всех тупо, слабо и несовершенно. Наконец, нахожу, что от первого рода эфира происходит цвет красный, от второго – желтый, от третьего – голубой. Прочие цвета рождаются от смешения первых».

Это – одна из попыток связать цвета тел с их химической структурой. Одновременно

Ломоносов пытается физически интерпретировать цветность светового луча.

Вопрос о физической природе белого цвета и цветов занимал Ньютона и Гука, Ломоносова и Эйлера. Эйлер выдвинул своеобразную резонансную теорию цветов и также примкнул к волновой теории света, игнорируя, однако, принцип Гюйгенса. Принцип Гюйгенса в XVIII в. «не работал», вообще волновая теория света, несмотря на ее поддержку Ломоносовым и Эйлером, была оставлена. Всеобщее увлечение гипотетическими «флюидами», «невесомыми» отразилось и на оптике. Корпускулярная, «вещественная» теория света завоевала всеобщее признание.

Заметим, что именно в XVII в. проявляется большой интерес к световым измерениям и именно отсюда датируется фотометрия. Причины этого, с одной стороны, лежат в практических потребностях. Вопросы освещения, в частности уличного освещения больших городов, освещения дворцов, устройство маячных фонарей, приобрели большое значение. Лавуазье занимался этими вопросами в Париже, Ломоносов принимал активное участие в устройстве парадных иллюминаций. Кулибин конструировал фонари. Измерение силы света различных источников и освещенности стало интересовать ученых. С другой стороны, методы точного естествознания, распространяясь все шире и шире, не смогли не затронуть область световых явлений, фотометрия была необходима и для науки, и для практики.

Основателями фотометрии были француз Пьер Бугер (1698-1758), издавший в 1729 г. «Опыт о градации света» и написавший «Оптический трактат о градации света», изданный посмертно в 1760 г., и эльзасец И. Г. Ламберт (1728-1777), «фотометрия» которого была издана также в 1760 г.

Вопрос о распределении света и освещенности издавна интересовал живописцев, и вполне естественно, что такой художник-исследователь, как Леонардо, был одним из первых экспериментаторов фотометристов. С. И. Вавилов писал о нем: «Его рисунки и пояснения к ним не оставляют никакого сомнения в том, что Леонардо экспериментировал с фотометрической установкой типа Румфорда».

В «Оптическом трактате» Бугера введены такие фотометрические понятия, как «световой поток» (у Бугера – «количество света»), «сила света источника» (у Бугера – «абсолютная сила света»), «освещенность» (у Бугера – «сила света»), «яркость», которую Бугер называет то интенсивностью света, то яркостью света. Основной принцип фотометрических измерений Бугер формулирует следующим образом: «Заставим сначала лучи от этих двух светящихся тел (исследуемого источника и свечи – эталона. – П. К.) падать под одинаковым углом на два различных участка поверхности, которую мы будем удалять на большее или меньшее расстояние от светильника или от свечи до тех пор, пока эти два участка поверхности не станут казаться нам совершенно одинаково освещенными. Тогда остается лишь измерить оба расстояния, и их квадраты будут выражать отношение абсолютных сил света двух светящихся тел».

Бугер сконструировал простой фотометр, разработал методы уравнивания создаваемых различными источниками освещенностей, выполнил обширную программу фотометрических измерений. В частности, он установил весьма важный закон поглощения света, согласно которому интенсивность светового потока убывает с толщиной поглощающего слоя по экспоненциальному закону.

С. И. Вавилов и В. Л. Левшин тщательно исследовали справедливость закона Бугера при разных интенсивностях и нашли, что он остается справедливым при изменении интенсивности в 1020 раз. В книге «Микроструктура света» С. И. Вавилов вскрыл сложные и тонкие физические причины нарушения закона, о которых, понятно, классическая оптика не имела никакого представления.

Заметим, что закон Бугера и закон зависимости освещенности от расстояния источника света до освещаемой поверхности неправильно назывались в учебниках законами Ламберта. С. И. Вавилов много сделал для восстановления исторической справедливости по отношению к Бугеру.

Ламберт уточнил основные фотометрические понятия и соотношения, к закону

зависимости освещенности от расстояния он добавил закон зависимости освещенности от угла наклона падающих лучей, сформулировал закон зависимости яркости источника от «угла истечения» света из источника. Этот закон Ламберта справедлив для абсолютно черного тела (яркость пропорциональна синусу угла, образованного выходящими лучами с поверхностью излучающегося тела). Ламберт, однако, полагал его справедливым вообще и в частности, полагал, что вследствие этого закона Солнце должно казаться равномерно освещенным диском в противоположность утверждению Бугера, что яркость Солнца убывает от центра к периферии.

Фотометрия была важнейшим достижением оптики XVIII в. Из других результатов следует отметить построение, вопреки мнению Ньютона, ахроматических объективов телескопов и труб и открытие абберации света (Джемс Брайлей, 1728). Это последнее открытие дало новый метод определения скорости света и позже сыграло важную роль в развитии оптики движущихся сред.

Электричество и магнетизм

Как уже говорилось, научное исследование электрических и магнитных явлений началось с книги Гильберта, которому принадлежит и термин «электричество», произведенный от греческого названия янтаря. Гильберт кропотливо исследовал множество самых различных тел и построил для этой цели специальный электрический указатель, который он описывает таким образом: «Сделай себе из любого металла стрелку длиной в три или четыре дюйма, достаточно подвижную на своей игле, наподобие магнитного указателя». С помощью этого указателя, прототипа современных электроскопов, Гильберт установил, что способностью притягивать обладают многие тела, «не только созданные природой, но и искусственно приготовленные». Однако он нашел также, что многие тела «не притягивают и не возбуждаются никакими натираниями». К числу их относится ряд драгоценных камней и металлы: «серебро, золото, медь, железо, также любой магнит». Тела, обнаруживающие способность притяжения, Гильберт назвал электрическими, тела, не обладающие такой способностью, – неэлектрическими.

Электрические явления, по Гильберту, коренным образом отличаются от магнитных.

Гильберт указывает, как производится электризация тел трением: «Их натирают телами, которые не портят их поверхности и наводят блеск, например жестким шелком, грубым немарким сукном и сухой ладонью. Трут также янтарь о янтарь, об алмаз, о стекло и многое другое. Так обрабатываются электрические тела».

В сочинении Гильберта много интересных наблюдений и догадок, смешанных с фантастическими объяснениями в духе средневековых алхимиков. Но главное значение его труда в том, что он положил твердое основание изучению электрических и магнитных явлений и на этом основании началось интенсивное развитие этого важного раздела науки и техники.

Электрическими опытами занимался и Ньютон, который наблюдал электрическую пляску кусочков бумаги, помещенных под стеклом, положенным на металлическое кольцо. При натирании стекла бумажки притягивались к нему, затем отскакивали, вновь притягивались, и т. д. Эти опыты Ньютон производил еще в 1675 г.

Эксперименты по электричеству проводили и другие члены Лондонского Королевского общества. Бойль, повторив опыты Герике с шаром, установил, что наэлектризованное тело не только притягивает ненаэлектризованное, но и, в свою очередь, притягивается последним. Он показал, что электрические взаимодействия наблюдаются и в вакууме.

В 1700 г. доктор Уолл извлек из натертого большого куска янтаря электрическую искру, проскочившую с треском в палец руки экспериментатора. Электрическую искру получил в 1705 г Хауксби, заменивший серный шар Герике стеклянным. Ньютон в 1716 г. наблюдал искровой разряд между острием иголки и наэлектризованным телом. «Искра

напомнила мне о молнии в малых, очень малых размерах», – писал Ньютон. Наконец, Стефэн Грей (1670-1736), также член Лондонского Королевского общества, в 1729 г. открыл явление электропроводимости тел и показал, что для сохранения электричества тело должно быть изолировано. Он наэлектризовал ребенка, сначала по две сив его на шнурах, сплетенных из волос, а затем поставив его на смоляной диск.

Опыты Грея, опубликованные в 1731 и 1732 гг., обратили на себя внимание французского естествоиспытателя Шарля Дюфэ (1698–1739), создавшего первую теорию электрических явлений. Повторяя опыты Грея по электризации изолированного человеческого тела, он сам ложился на шелковые шнуры, и его электризовали настолько сильно, что из тела при приближении руки Другого человека выскакивали искры.

Дюфэ установил два рода электрических взаимодействий: притяжение и отталкивание. Сначала он установил, что «наэлектризованные тела притягивают ненаэлектризованные и сейчас же их отталкивают, как только они наэлектризуются вследствие соседства или соприкосновения с наэлектризованными телами». В дальнейшем он открыл «другой принцип, более общий и более замечательный, чем предыдущие». «Этот принцип, – продолжает Дюфэ, – со стоит в том, что существует электричество двух родов, в высокой степени отличных один от другого: один род я называю «стеклянным» электричеством, другой– «смоляным»... Особенность этих двух родов электричества: отталкивать однородное с ним и притягивать противоположное. Так, например, тело, наэлектризованное стеклянным электричеством, отталкивает все тела со стеклянным электричеством, и, наоборот, оно притягивает тела со смоляным электричеством. Точно так же смоляное отталкивает смоляное и притягивает стеклянное».

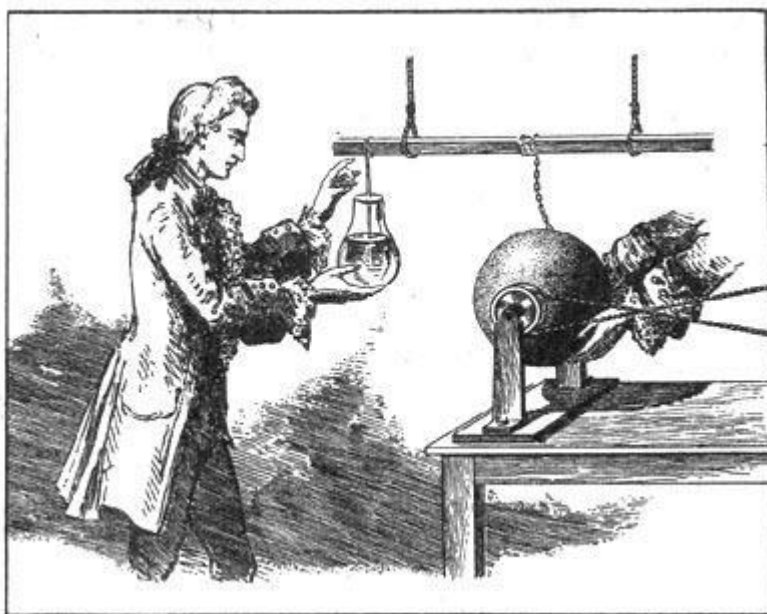


Рис. 24. Первый опыт с лейденской банкой

Этот закон был опубликован Дюфэ в Мемуарах Парижской Академии наук за 1733 г.

Новые открытия в области электричества и усовершенствование электрических машин, получивших кондуктор, подушки для натирания и, наконец, сенсационное изобретение лейденской банки в 1745–1746 гг., возбудили в обществе большой интерес к электричеству. Электрические опыты проводились в светских салонах и королевских дворцах, на заседаниях ученых обществ и в частных домах. За Европой последовали Америка и Россия. Франклин, Рихман, Ломоносов, Эпинус внесли существенный вклад в эту науку.

Георг Вильгельм Рихман родился 11 июля 1711 г. в г. Пярну (тогда Пернове) в Эстонии. Рихман учился в германских университетах в Галле и Иене, а с 1735 г. в университете Петербургской Академии наук. В 1740 г. он становится адъюнктом, а в

следующем, 1741 г. – профессором академии.

Г. В. Рихман



В январе 1745 г. Рихман начал собственные опыты по электричеству. В процессе этой работы, как пишет он сам, «я встретился со многими новыми явлениями...», далее «...открыл новый удобный способ исследовать тела, обладающие первичным, и тела, обладающие производным электричеством». Здесь под первичным электричеством Рихман понимает электричество, возбуждаемое в изоляторах трением, под производным – электричество в проводниках, получаемое от контакта с заряженными телами.

Существенно новым моментом в исследованиях Рихмана было то, что он «пытался подвергнуть измерению порождаемое электричество». Вот как он описывает первую свою попытку «измерить электричество»: «Маленькие весы я подвесил на железной подставке так, что одна чашка их нависла над этой подставкой, а другая висела около нее на расстоянии 3 дюймов. На эту чашку я положил 30 гранов; поскольку равновесие было нарушено, коромысло с указанной стороны наклонилось и дно другой чашки весов удалилось на 1 дюйм от железной подставки. Когда проволока CDB и весь аппарат были наэлектризованы, железная чашка тянула книзу и ударялась о подставку, слышался треск и одновременно был виден свет между подставкой B и чашкой весов. Итак, на указанном расстоянии сила была такая, что 30 гранов могли быть подняты на высоту 1 лондонского дюйма. Тем же способом я надеялся измерить и электрическую силу».

Итак, Рихман попытался «взвесить» электрическую силу. Это была правильная идея, которая в своем развитии привела к изобретению абсолютного электрометра. Рихман описывал ряд опытов с различными весами и массами. Но потом он переходит к другому методу – методу электрического указателя – родоначальнику, современных электрометров.

«Я придумал и другой способ сравнивать электрические силы. К железной проволоке CB, отводящей электричество, я подвесил льняную нитку DE, затем на расстоянии 492 лондонских линий я укрепил шелковую голубую нитку, параллельную горизонту, а в g поместил тяжелое тело. Шелковую нитку Eg я разделил на десятые доли лондонского фута, обозначив точки деления льняными нитками. Когда проволоке сообщалось электричество, нитка DE приближалась к тяжелому телу g и принимала наклонное положение, например D4, D5, D6 и т. д. Когда электричество прекращалось, нитка вновь принимала вертикальное положение DB. Да позволено будет назвать указателем электричества нить DE, свисающую с наделенной электричеством проволоки и приближающуюся к тяжелому телу».

Описание экспериментов Рихмана было опубликовано в «Новых Комментариях» Петербургской Академии наук за 1751 г. спустя шесть лет после начала опытов. Это была первая публикация по электричеству в России. Статья Рихмана «Новые опыты с

электричеством, порождаемым в телах» содержит описание его экспериментальной установки и опытов, произведенных на этой установке. Установка состояла из электрической машины Гравезанда. От электризуемого шара машины электричество отводилось железной проволокой к железной подставке, помещенной на смоле, заполнявшей конический сосуд. Подставка сообщалась с электрическим указателем, состоящим из вертикальной железной линейки, к верхнему концу которой прикреплялась льняная нить определенной длины и веса.

К столу, на котором находился сосуд со смолой, прикреплялся деревянный квадрант с делениями, образующий шкалу указателя. Нить немного не доходила до шкалы. К другому концу железной подставки присоединялась также железная линейка, от которой электричество могло передаваться различным телам.

Электрический указатель занимал мысли Рихмана до самой смерти. Он хорошо понимал, что «совершенный электромметр должен оказать большую пользу в деле открытия и определения законов электричества», и, как он писал в неопубликованной рукописи «Об усовершенствовании электрического указателя», «делал много тщетных попыток в этой области». Описанный в «Комментариях» указатель был жестко связан с экспериментальным столом, и в этом заключалось большое неудобство. Рихман сделал переносной прибор, который представлял собой лейденскую банку (стеклянную бутылку, наполненную наполовину металлическими опилками, вставленную в металлический цилиндрический сосуд), в которую была помещена железная линейка, выступающая наружу. К наружному концу линейки прикреплялась льняная нить.

В работе «Рассуждения об указателе электричества и о пользовании им при исследовании явлений искусственного и естественного электричества» Рихман подводит итог многолетней экспериментальной работы по исследованию электрических явлений, кончая исследованиями электрической природы молнии. «...Восемь лет назад, – пишет Рихман в 1753 г., – я приступил... к исследованию электрических явлений. Совершенный электромметр, т. е. инструмент для определения электрической силы, вне всякого сомнения, может сильно способствовать развитию электрической теории. Вот почему с самого начала я сразу же стал размышлять об удобном способе определять интенсивность электрической силы. Впрочем, мне до сих пор не посчастливилось сделать совершенный электромметр, – не знаю как другим». Так самокритично и честно оценивает Рихман свои поиски надежной конструкции электромметра.

Для создания такого инструмента потребовалось более ста лет. Электромметры были созданы во второй половине XIX столетия.

В этой же работе Рихман описывает оба типа своих приборов и основные опыты, произведенные с ними, в том числе и опыты с электричеством грозы, приведшие к трагической гибели ученого 26 июля 1753 г. Его классическая работа, о которой мы здесь говорили, была опубликована в 1758 г., спустя пять лет после смерти ученого. Несмотря на несовершенство указателя своего прибора, Рихман с полным правом утверждал, что он «является надежным инструментом для распознавания больше или меньше градус электричества в той или иной наэлектризованной массе». Он нашел, что «электрическая материя, неким движением возбуждаемая вокруг тела, по необходимости должна опоясывать его на некотором расстоянии; на меньшем расстоянии от поверхности тела действие ее бывает сильнее; следовательно, при увеличении расстояния сила ее убывает по некоторому, пока еще неизвестному закону». Другими словами, с помощью своего указателя

Рихман открыл существование электрического поля вокруг заряженного тела, напряженность которого убывает с увеличением расстояния от тела «по некоторому, пока еще неизвестному закону». Таким образом, русскому ученому принадлежит честь открытия электрического поля и вполне определенное утверждение о зависимости действия этого поля от расстояния до источника поля. Этот «неизвестный пока закон» был найден спустя сорок лет Кулоном.

В своей работе Рихман упоминает Франклина и его теорию положительного и отрицательного электричества. Обратимся к исследованиям этого ученого.

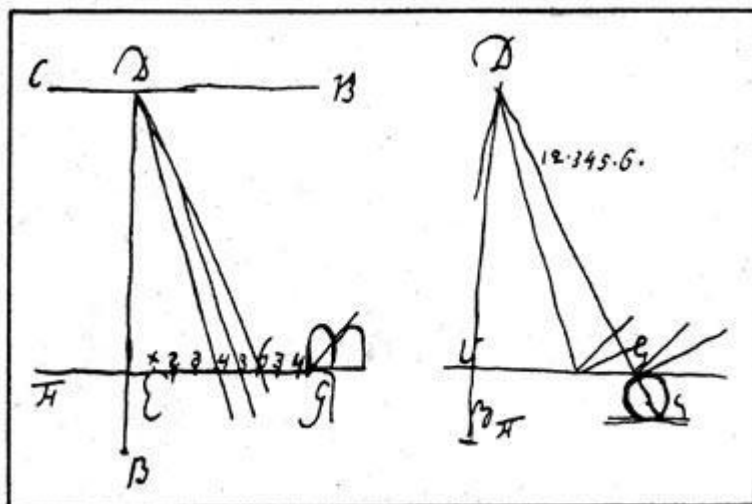


Рис. 50. Первый проект электрического указателя. Рисунки Рихмана

Основоположник американской науки Вениамин (Бенджамин) Франклин родился в семье бостонского мыловара 17 января 1706 г. Отец его, бедный ремесленник, обремененный большой семьей (Вениамин был пятнадцатым ребенком), выехал в Америку из Англии в поисках лучшей жизни. Вениамину рано пришлось начать трудовую жизнь, сначала помогая отцу, а затем брату, владевшему небольшой типографией. Работая в типографии, Франклин много читал и занимался самообразованием. Когда его брат начал издавать газету, Франклин стал пробовать свои силы в журналистике, тайно подбросив написанную им статью. Статья была опубликована, за нею появились другие, привлечшие внимание общественности. Раскрытие авторства Франклина привело к ухудшению его отношений с братом. Вениамин расторг контракт с ним и уехал в поисках работы в Нью-Йорк, а оттуда в Филадельфию. Трудолюбие и терпение привели Франклина после долгих лет лишений к успеху. Он достиг независимого и обеспеченного положения в Филадельфии, стал одним из уважаемых сограждан, крупным общественным деятелем. Его избрали секретарем Собрания провинции Пенсильвания, он становится директором почт и в дальнейшем генерал-почтмейстером американских колоний. Наряду с этим он развернул широкую просветительскую деятельность, организовал в Филадельфии библиотеку, основал Пенсильванский университет, Филадельфийское философское общество.

Большую роль сыграл Франклин в борьбе за независимость американских колоний (1775–1783). Он принимал участие в работе континентального конгресса и созданного им комитета по выработке декларации независимости. Посланный новым государством во Францию в качестве посла, он сумел добиться поддержки Франции в борьбе с Англией. Это существенно повлияло на исход борьбы.

В 1783 г. Франклин вместе с двумя другими уполномоченными конгресса Соединенных Штатов Северной Америки (так было названо новое государство) подписал мирный договор с Англией.

Франклин принимал активное участие в выработке конституции Соединенных Штатов, горячо боролся против порабощения негров, за демократические принципы управления государством. Умер Франклин 17 апреля 1790 г.

Таким образом, Франклин был одним из основателей Соединенных Штатов Америки, одним из создателей нового государства. Он был также основателем науки этого государства, учредителем одного из первых университетов, первого научного общества – Филадельфийского философского общества. Он внес своими трудами большой вклад в американскую и мировую науку. Среди этих трудов первое место занимают его исследования по электричеству.

Эти исследования составили содержание труда Франклина «Опыты и наблюдения над электричеством», состоящего из писем к члену Лондонского Королевского общества Питеру

Коллинсо-ну. Коллинсон прислал в филладельфийскую библиотеку стеклянную трубку с указанием, как пользоваться ею для производства электрических опытов. В письме к Коллинсону от 28 марта 1747 г. Франклин писал, что этот подарок побудил его и других членов библиотеки «заняться электрическими опытами, при проведении которых нами наблюдались некоторые новые, по нашему мнению, явления». Франклин занимался электричеством с большим увлечением. «...Мне до этого никогда не приходилось проводить исследование, которое столь полно завладело бы моим вниманием и временем...» – признавался он в том же письме. Результатом этого увлечения было создание унитарной теории электрических явлений, доказательство электрической природы молнии и другие важные открытия.

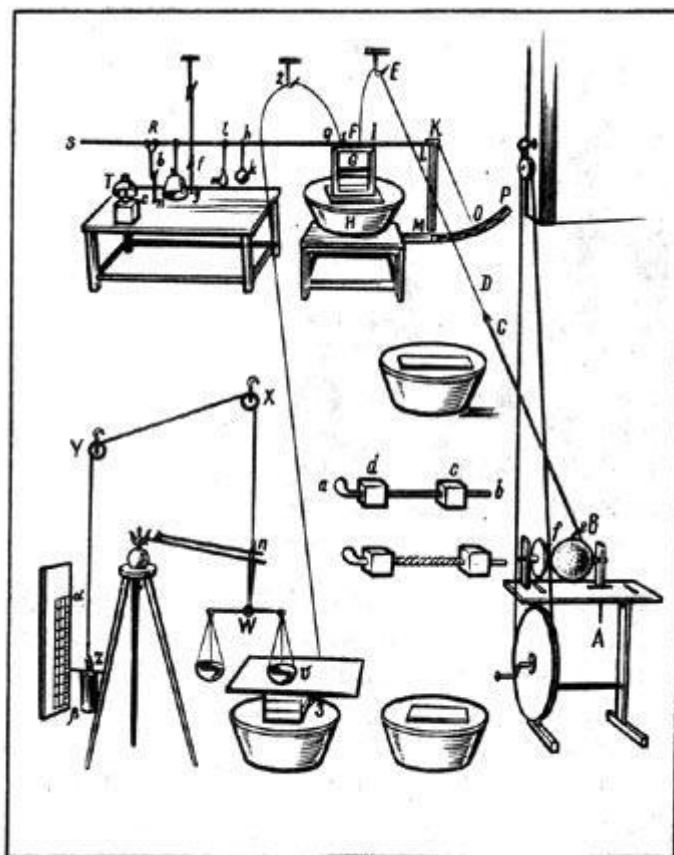


Рис. 26. Расположение приборов в электрических опытах Рихмана

Один из первых опытов Франклина заключался в электризации чугунного шара, помещенного на горлышке «чистой сухой стеклянной бутылки». Электризация исследовалась с помощью легкого пробкового шарика, подвешенного на шелковой нити, прикрепленной к потолку. Франклин установил в этом опыте действие проводящего острия, разряжающего шар, и светящегося в темноте при разряде. Франклин уже в письме от 11 июля описал свои опыты с наэлектризованным шаром, острием, заряженной вертушкой. Здесь он ввел представление о положительном и отрицательном электричестве. «Чтобы электризовать плюс или минус, требуется знать лишь только то, что части трубки или шара, которые натираются, притягивают в момент трения электрический огонь и, значит, забирают его из предмета, которым производится натирание; эти же самые части, как только прекратится их натирание, стремятся отдать полученный ими огонь любому предмету с меньшим его количеством».

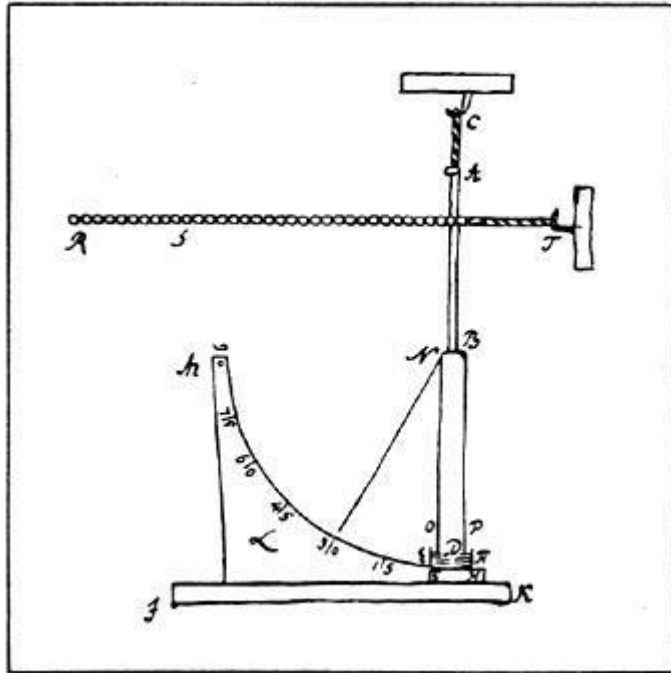


Рис. 27. Электрический указатель, применявшийся при исследовании грозы. Рисунок Рихмана

Таким образом, Франклин пользуется представлением об особой электрической субстанции, которую он называет «электрическим огнем». Он предполагает, что электрический огонь «является распространенным элементом» и тела до процесса электризации имеют равные количества этого элемента.

В письме от 1 сентября 1747 г. Франклин описывает действие лейденской банки. «Удивительно, как эти два состояния электричества – плюсовое и минусовое – сочетаются и уравниваются в этой чудодейственной банке!» – восклицает он. Франклин тщательно исследовал эту взаимосвязь. Опытом с разборной банкой он установил, что вся сила банки и способность к удару заключается в самом стекле, а не в обкладках. Этот опыт им описан в письме IV от 1748 г. Здесь же он излагает результаты* своих опытов и сконструированное им «колесо Франклина» – модель электростатического двигателя, распространенную принадлежность школьных физических кабинетов.



Б. Франклин

К 1749 г. теория электричества Франклина была завершена. В письме Коллинсону от 29 июля 1750 г. он так формулирует ее основные положения.

«1. Электрическая субстанция состоит из чрезвычайно малых частиц, так как она способна проникать в обыкновенную материю, даже в самые плотные металлы, с большой легкостью и свободой, как бы не встречая при этом сколь-либо заметного сопротивления.

3. Электрическая субстанция отличается от обыкновенной материи в том отношении, что частицы последней взаимно притягиваются, а частицы первой отталкиваются друг от друга...

4. И хотя частицы электрической субстанции взаимно отталкивают друг друга, они сильно притягиваются всей прочей материей.

6. Таким образом, обыкновенная материя по отношению к электрической жидкости является как бы своеобразной губкой...

7. Но в обыкновенной материи содержится (как правило) столько электрической субстанции, сколько она может заключать в себе. Если прибавить ей этой субстанции еще, то она разместится снаружи, на поверхности, и образует то, что мы называем электрической атмосферой; в этом случае говорят, что предмет наэлектризован.

15. Электрическая атмосфера принимает форму того предмета, который она обволакивает...»

Франклин показывает, что электрическая атмосфера обволакивает шар равномерно, с острием ее легче отобрать, чем с граней. Он демонстрирует стекание электричества с острия на различных опытах. Заметим, что это свойство острия и углов было еще раньше открыто и исследовано Рихманом. Существенно, что в теории Франклина электричество является субстанцией, которую нельзя создать или уничтожить, а можно только перераспределить.

Закон сохранения электрического заряда—основное положение теории Франклина, предшественницы электронной теории.

Франклин высказал также гипотезу, что молния представляет собой разряд наэлектризованных туч. Он произвел знаменитый опыт с воздушным змеем, запуская его при приближении грозных туч. К верхнему концу вертикальной планки крестовины змея он прикреплял заостренную проволоку. К концу бечевки привязывал ключ и шелковую ленту, которую держал рукой. «Как только грозная туча окажется над змеем, заостренная проволока станет извлекать из нее электрический огонь, и змей вместе с бечевой наэлектризуется... А когда дождь смочит змея вместе с бечевой, сделав их тем самым способными свободно проводить электрический огонь, Вы увидите, как он обильно стекает с ключа при приближении Вашего пальца». (Письмо Коллинсону от 19 октября 1752 г.).

Опыты Франклина и его идея громоотвода вызвали широкий резонанс. Их повторяли в Европе. Жан Далибар (1703– 1799) во Франции, установив на подставке из электрика (т. е. изолятора) в саду железный заостренный шест высотой 40 футов, извлекал из него искры во время грозы. Аналогичные наблюдения проводили Ломоносов и Рихман в Петербурге. Как мы уже знаем, во время наблюдений грозы 26 июля 1753 г. Рихман был убит молнией.

Отметим, что Франклин, употребляя термины «электрик» и «неэлектрик», критиковал их как неверные. По его теории электричество содержится во всех телах; электрическая субстанция «довольно равномерно рассредоточена по всей массе нашего шара, состоящего из суши и воды». Поэтому термины «электрик» и «неэлектрик» должны быть отброшены как неверные и заменены понятиями «проводник» и «непроводник» (единственное отличие одних тел от других состоит только в том, что некоторые проводят электрическую субстанцию, другие нет)».

Как мы видим, Рихман начал свои электрические исследования за два года до Франклина. Совершенно независимо от Франклина начал «электрические воздушные наблюдения» и Ломоносов. Ему удалось с помощью электрического указателя установить электрическое состояние атмосферы в отсутствие грома и молнии. Об этом он сообщал в своей посмертно опубликованной статье. Рихман и Ломоносов не приняли теории Франклина. Ломоносов разрабатывал свою теорию электрических явлений, в которой сделал

попытку объяснить электричество движением частиц эфира. Сопоставляя это с идеей Рихмана об электрическом поле, можно констатировать, что если Франклин предвосхитил будущую электронную теорию, то петербургские академики предвосхитили будущую теорию поля фарадея – Максвелла.

В 1759 г. в Петербурге вышла на латинском языке книга «Опыт теории электричества и магнетизма» академика Франца Ульриха Теодора Эпинуса (1724–1802). За два года до выхода этой книги член Берлинской Академии наук Эпинус принял приглашение Петербургской Академии наук и заключил контракт на пять лет. Однако в России он нашел вторую родину, принял русское подданство и проработал в новом отечестве 45 лет до самой смерти.

«Опыт теории электричества и магнетизма» Эпинуса, в отличие от книги Франклина и работ Рихмана, рассматривал не только электрические явления, но и магнетизм. При этом, в отличие от Гильберта, Эпинус ищет не отличия, а сходства между электричеством и магнетизмом. Открытие им полярной электризации турмалина при нагревании (пироэлектричество), опубликованное им в 1756 г., поразило его в особенности тем, что он обнаружил «чрезвычайное сходство между этим камнем (турмалином) и магнитом». Под впечатлением этого открытия Эпинус «начал снова исследовать сходство между магнитом и электрической силой». В результате этих исследований он стал считать «причины магнитных и электрических явлений совершенно сходными, а действия магнита аналогичными действиям лейденской банки».

В основу своей теории Эпинус кладет представление об электрической и магнитной жидкостях, частицы которых взаимодействуют с материей и между собой притягательными и отталкивательными силами. Следуя примеру Ньютона, Эпинус не рассматривает природу этих сил, а описывает с помощью их экспериментальные факты. Вместе с тем Эпинус замечает, что хотя он «вполне убежден в существовании сил притяжения и отталкивания», однако не считает их, «как поступают некоторые неосторожные последователи великого

Ньютона, силами, внутренне присущими телам», и не одобряет учения, «которое постулирует действие на расстояние». «...Мой взгляд, – пишет Эпинус, – сводится к тому, что притяжения и отталкивания... я считаю явлениями, причины которых еще скрыты, однако от них зависят и от них берут начало другие явления». Такова позиция Эпинуса в споре картезианцев и ньютонианцев. Эпинус принимает франклиновскую гипотезу единой электрической жидкости: «Существует некая жидкость, производящая все электрические явления и вследствие этого названная электрической, тончайшая, весьма эластичная, части которой, даже на значительных расстояниях, заметно отталкивают друг друга». «Частицы этой жидкости притягиваются материей, из которой состоят все известные до сих пор тела».

По отношению к электрической жидкости материальные тела разделяются на два класса: одни легко проводят электрическую материю, другие «препятствуют ее свободному перемещению». Первую группу тел Эпинус называет «не электрическими по своей природе», другую – «электрическими по своей природе». Выше мы видели, что Франклин считал эти термины неправильными и предпочитал говорить о проводниках и непроводниках. Однако термины «неэлектрик», «электрик» держались долго и лишь в первой половине XIX в. были заменены привычными для нас терминами «проводники» и «изоляторы».

По аналогии с электрическими явлениями Эпинус вводит для описания магнитных явлений магнитную жидкость. «...Ее частицы, как и частицы электрической жидкости, взаимно отталкивают друг друга». Однако большинство тел в природе не реагирует с магнитной жидкостью, лишь некоторые тела, и прежде всего железо, притягиваются магнитной материей.

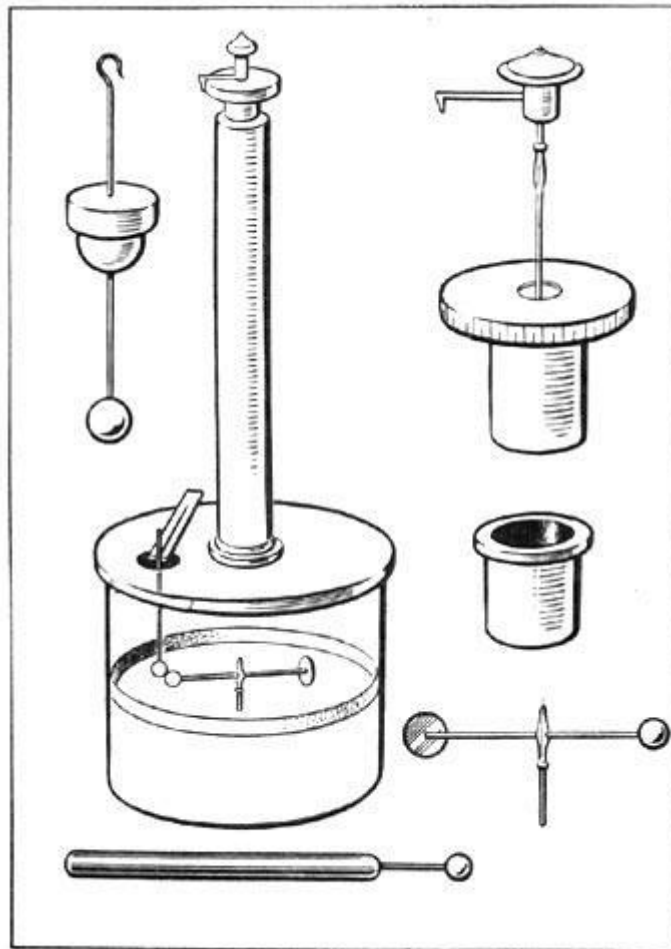
«Существует величайшее сходство между железом и железными телами, с одной стороны, и телами, электрическими по своей природе, с другой...» «До сих пор неизвестно ни одного тела, которое действовало бы на магнитную материю и соответствовало бы телам, не электрическим по природе». Таким образом, Эпинус констатирует сходство магнетиков

(ферромагнетиков) и «электриков» (диэлектриков), а также отсутствие для магнетизма проводимости, аналогичной электрической проводимости. Но в остальном электрическая и магнитная жидкости, по Эпинусу, действуют по сходным законам. Так, тела не взаимодействуют, если содержат «естественное» количество электрической или магнитной жидкости. Электричество и магнетизм возникает «..либо увеличением количества электрической или магнитной жидкости так, чтобы оно стало выше естественного, либо уменьшением так, чтобы оно стало ниже его». «Франклин назвал, – говорит Эпинус, – электричество, которое получается путем увеличения количества электрической материи, положительным, а то, которое получается путем ее уменьшения, отрицательным. В том же смысле я сохраняю эти термины, перенося их на магнетизм».

Заметим, что в том же, 1759 г., в котором вышло сочинение Эпинуса, англичанин Саймер выдвинул дуалистическую теорию электричества, предположив существование двух противоположных родов электричества: одного – аналогичного электричеству, получающемуся на стекле при его натирании, другого – аналогичного электричеству, получающемуся при электризации янтаря («смоляное» электричество). По унитарной теории Франклина – Эпинуса «любое тело, предоставленное самому себе, самопроизвольно всегда возвращается в такое состояние, когда оно содержит точно такое количество электрической жидкости, какое достаточно для достижения равновесия между силой притяжения или силой отталкивания».

Эпинус разбирает возможные случаи взаимодействия тел. При этом он высказывает предположение, что силы отталкивания электрических или магнитных масс уменьшаются с увеличением расстояния между ними. Хотя вид этой функциональной зависимости ему неизвестен, однако он признает, что «охотно утверждал бы, что эти величины изменяются обратно пропорционально квадратам расстояний». Эту зависимость ему подсказывает аналогия с законом тяготения. Эпинус указывает, что наблюдающиеся на опыте притяжения ненаэлектризованных тел к наэлектризованным объясняются тем, что «это тело благодаря одному лишь приближению к другому наэлектризованному телу само может стать наэлектризованным». Это явление электрической индукции было известно уже Рихману, его описали в 1754 г. англичанин Джон Кантон (1718–1772) и в 1757 г. немец Иоганн Карл Вильке (1732-1796).

Эпинус исследовал экспериментально электрическую индукцию в проводниках и изоляторах, при этом он установил, что в изоляторах она выражена слабее, чем в проводниках. Таким образом, Эпинус по сути дела открыл поляризацию диэлектриков.



Крутильные весы Кулона

В своем трактате Эпинус выдвинул положение об электростатическом равновесии тела, утверждая, что тело стремится самопроизвольно перейти в такое состояние, в котором количество электричества в нем будет «естественным». Как уже было сказано, он подробно анализирует силы, действующие на тело, постулируя, что равновесие электричества в нем достигается, когда сумма притягательных и отталкивательных сил равна нулю. Но он не сумел понять закона распределения электричества в проводниках и наблюдения Франклина, что «пробковые шарики не подвергали сь ВОВ се дей стви ю электриче ства металлического сосуда, внутри которого они находились». Естествоиспытатель и философ Пристли, разделяющий со шведом Шееле славу открытия кислорода, правильно оценил важность эксперимента Франклина. Этот эксперимент получает объяснение, если предположить, что силы взаимодействия электрических частиц обратно пропорциональны квадрату расстояния. Пристли высказал это предположение в своей «Истории электричества» в 1767 г., а в 1771 г английский лорд Кавендиш впервые экспериментально показал, что силы взаимодействия электрических зарядов подчиняются закону

$$\frac{1}{r^n},$$

где $n=2\pm 1/50$

Опыт Кавендиша заключался в следующем. Шар диаметром 12, 1 дюйма, покрытый оловянной бумагой (станиолем), помещался внутри другого шара 13,3 дюйма в диаметре так, чтобы он был изолирован от наружного шара. Наружный шар состоял из двух полушарий, также покрытых станиолем, которые можно было раздвигать. Через небольшое отверстие в

наружном шаре можно было устанавливать проводящий контакт между ним и внутренним шаром с помощью проволочки, привязанной к шелковине. В начале опыта, когда полушария сближены и установлен проводящий контакт, наружную сферу заряжают от лейденской банки. Затем с помощью шелковинки контактную проволоку удаляют, раздвигают наружные полушария и исследуют электризацию внутреннего шара.

Электроскоп не обнаружил заряда этого шара. Кавендиш исследовал чувствительность электроскопа и показал, что он мог бы обнаружить заряд внутреннего шара, равный $1/60$ заряда внешней сферы. Отсюда Кавендиш вывел, что сила взаимодействия электрических частиц убывает с расстоянием по закону

$$r^{-n},$$

где n отличается от двух не более чем на $1/50$.

Генри Кавендиш (1731-1810) был богатым английским лордом, занимавшимся физикой и химией в качестве «хобби», как сказали бы теперь. В 1766 г он открыл водород и получил углекислый газ, он показал, что вода получается при горении водорода. Кавендиш с помощью крутильных весов определил постоянную закона тяготения и тем самым «взвесил»

Землю. Одинокий, чудаковатый джентльмен, он неохотно публиковал свои работы, и в частности свои электрические исследования. Они оставались неизвестными до 1879 г., когда их опубликовал Максвелл, первый профессор лаборатории Кавендиша, открытой на средства потомка Генри Кавендиша в Кембридже в 1874 г.

Максвелл повторил опыты Кавендиша с электрометром Томсона и показал, что n может отличаться от 2 не более чем на $1/21600$

«Что касается скрытности Кавендиша, – писал в 1891 г. известный электрофизик Хевисайд, – то она совершенно непростительна; это грех» Этот «грех» стоил Кавендишу славы открывателя точного закона электрических взаимодействий, который навсегда вошел в науку под названием закона Кулона.

Французский военный инженер, а с 1781 г. член Парижской Академии наук Шарль Огюстен Кулон (1736-1806) в 1777 г. исследовал кручение волос, шелковых и металлических нитей. Результатом этих исследований явилось открытие закона кручения :

$$\varphi = c \frac{Pl}{r^n},$$

где φ – угол кручения, P – закручивающая сила, l - длина нити, r - ее радиус.

В 1784 г. Кулон сконструировал чувствительный прибор – крутильные весы. С помощью этих весовой открыл законы электрических и магнитных взаимодействий. Его опыты и выводы из них опубликованы им в 1782–1785 гг. в семи мемуарах. Аппарат Кулона представлял собой стеклянный цилиндр с измерительной шкалой по окружности, в крышке цилиндра имелись центральное и боковое отверстия. В центральное отверстие пропусклась серебряная нить, закрепленная на измерительной головке и проходящая по оси высокого стеклянного цилиндра, заканчивающегося упомянутой головкой. Нить несла легкое стеклянное коромысло, на котором находились шарик и противовес. В боковое отверстие пропусклась стерженек, несущий наэлектризованный шарик.

В первом мемуаре 1785 г. Кулон исследовал отталкивающую силу и нашел, что при угловых расстояниях между шариками (которые первоначально при контакте получают одинаковые заряды) 36° , 18° , 9° нить закручивалась соответственно на 36° , 144° , 576° , т. е. силы росли обратно пропорционально квадратам расстояний.

Во втором мемуаре Кулон нашел закон взаимодействия магнитных полюсов.

Существенным моментом в работе Кулона было установление метода измерения количества электричества и количества магнетизма (магнитных масс). В научной системе единиц законы Кулона дают основную базу системы электрических и магнитных единиц.

После Кулона стало возможным построение математической теории электрических и магнитных явлений.

Глава вторая. Развитие основных направлений физики в XIX в.

Развитие механики в первой половине XIX столетия

Прежде чем перейти к описанию событий в истории физики начала XIX столетия, рассмотрим коротко развитие механики в первой половине XIX в.

Трудами Эйлера, Лагранжа и других математиков и механиков XVIII в. сформировалась та отрасль математического естествознания, которая получила название теоретической механики. В качестве таковой она выделилась из физики, и ее развитие было более тесно связано с развитием математики, чем физики.

В историю механики существенный вклад внесли и русские ученые: математик и механик М. В. Остроградский (1801-1862), имя которого встречается в физике в связи с теоремой Остроградского–Гаусса, П.Л.Чебышев (1821– 1894), А.М.Ляпунов (1857-1918) и многие другие.



К. Ф. Гаусс

Деятельность европейских и русских механиков XIX в. рассматривается в истории механики, и мы на ней останавливаться не будем. Мы упомянем здесь коротко о некоторых механиках, работавших после Лагранжа, продолживших его дело и внесших в механику новые понятия, важные для физики.

В 1803 г. вышел труд Луи Пуансо (1777–1859) «Элементы статики» «Пуансо ввел новое динамическое понятие пары сил, изучил свойства пар, сформулировал общий закон сложения сил, действующих на тело, и общие условия равновесия.

В 1811 г. вышел «Трактат о механике» Симеона Пуассона (1781–1840). В этом трактате Пуассон развивает и популяризирует традиции Лагранжа, иллюстрируя общие предположения многочисленными примерами. «Трактат» Пуассона долгие годы служил учебным пособием по механике.

Математик Жан Виктор Понселе (1788–1867), бывший солдат наполеоновской армии и русский военнопленный, ввел в механику важное понятие работы. Это понятие фигурирует и в «Трактате о механике твердых тел и о расчете действия машин» (1829.) Гас-пара Гюстава

Кориолиса (1792–1843). Кориолис открыл также ускорение, испытываемое движущимися телами во вращающейся системе, и соответствующую силу инерции. Это ускорение ныне известно под названием «кориолисово ускорение», а сила – под названием «сила Кориодиса» (1835).

В 1829 г. вышла работа знаменитого немецкого математика К. ф. Гаусса (1777–1855) «Об одном новом общем принципе динамики». В этом сочинении Гаусс предлагал положить в основу механики вместо принципа наименьшего действия другой, который он формулировал следующими словами: «Движение системы материальных точек, связанных между собою произвольным образом и подверженных любым влияниям, в каждое мгновение происходит в наиболее совершенном, какое только возможно, согласии с тем движением, каким обладали бы эти точки, если бы все они стали свободными, т. е. оно происходит с наименьшим возможным принуждением, если в качестве меры принуждения, примененного в течение бесконечно малого мгновения, принять сумму произведений массы каждой точки на квадрат величины ее отклонения от того положения, которое она заняла бы, если бы была свободной».

Следует отметить, что этой работе предшествовали многолетние геодезические и астрономические исследования Гаусса, в результате которых им был найден метод наименьших квадратов, играющий важную роль в теории ошибок и обработке экспериментальных данных. Сформулированный выше принцип наименьшего принуждения Гаусса близко подходит к методу наименьших квадратов: природа действует таким образом, что сумма квадратов отклонений движения точки от движения, невозмущенного действием сил, является минимальной.

Особенно важную роль вариационный принцип наименьшего действия сыграл в работах У.Р.Гамильтона (1805-1865).

Уильям Роуан Гамильтон ирландский математик и физик. С 1827 г. он был профессором астрономии в Дублинском университете и директором астрономической обсерватории университета.

В 1834 г. Гамильтон выступил с программной статьей «Об общем методе в динамике, посредством которого изучение движений всех свободных систем притягивающихся или отталкивающихся точек сводится к отысканию и дифференцированию одного центрального соотношения или характеристической функции».

Характеризуя развитие механики со времен Ньютона, Гамильтон выделяет учение славянского ученого Руджера Иосипа Бошковича, современника и ровесника Ломоносова, пережившего его более чем на двадцать лет (Бошкович родился 18 мая 1711 г. в Дубровнике, в Далмации, умер 13 февраля 1787 г. в Милане, в Италии. Бошкович в 1760 г., еще при жизни Ломоносова, был избран почетным членом Петербургской Академии наук).

В основном сочинении «Теория натуральной философии, приведенная к единому закону сил, существующих в природе», вышедшем в 1758 г., Бошкович рассматривает мир как совокупность точек (атомов, которые он мыслит как центры сил), взаимодействующих друг с другом с силами, модуль и направление которых меняется с расстоянием так, что притягательные силы переходят в отталкивательные, и наоборот. Гамильтон рассматривает его труд как переворот в механике, сделавший ее «более динамичной и сводящей все связи и действия тел к притяжению или отталкиванию точек».

Именно эту идею Гамильтон кладет в основу своей системы. Но для того чтобы определить движение системы точек, надо интегрировать дифференциальные уравнения второго порядка, «число которых втрое больше числа притягивающихся или отталкивающихся точек».

Естественно, что с увеличением числа точек эта задача необычайно усложняется, и для десяти точек, например, надо интегрировать тридцать дифференциальных уравнений второго порядка. Гамильтон предлагает метод, в котором «задача сводится к отысканию и дифференцированию одной-единственной функции, удовлетворяющей двум уравнениям в частных производных первого порядка и второй степени». Эту функцию Гамильтон называет

характеристической, она определяется интегралом

$$V = \int_0^t 2T dt,$$

где $2T$ - «полная живая сила» сумма произведений масс частиц на квадраты их скоростей. Она связана с введенной Гамильтоном функцией H , определяемой законом живой силы $T = U + H$, уравнением

$$\frac{\partial V}{\partial H} = t.$$

Соотношение $T = U + H$, где U - силовая функция, сейчас записывают в виде: $H = T + U$, где U - потенциальная энергия, отличающаяся от силовой функции U Гамильтона знаком.

Во второй статье - «Второй очерк об общем методе в динамике», опубликованной в 1835 г., Гамильтон вводит вместо характеристической функции V главную функцию S . Он применяет свою знаменитую систему канонических уравнений, которая в современной форме, в случае консервативных сил, имеет вид:

$$\dot{q}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i}, \quad \dot{p}_i = - \frac{\partial H}{\partial q_i}.$$

Число этих уравнений n ($i = 1, 2, \dots, n$) равно числу степеней свободы системы. Главная функция S вводится уравнением:

$$S = \int_0^t (T + U) dt.$$

Она сейчас носит название «действия», и канонические уравнения получаются из принципа наименьшего действия.

Работам Гамильтона по динамике предшествовали его работы по оптике лучей, написанные им в период 1827– 1832 гг., под общим названием «Теория систем лучей».

Гамильтону принадлежит заслуга в установлении оптико-механической аналогии, сыгравшей важную роль в истории создания волновой механики Шредингера.

Метод Гамильтона в динамике был разработан и развит в «Лекциях по динамике» Карла Густава Якоби (1804–1851). Якоби был родным братом русского академика Бориса Семеновича Якоби и сам был почетным членом Петербургской Академии наук.

Теория Гамильтона–Якоби получила широкое применение в XX в. в решении задач атомной механики. Оператор Гамильтона, или «гамильтониан», является одним из основных операторов современной квантовой механики, и таким образом полузабытая физиками теория механики и оптики обрела новую жизнь в нашем столетии.

Развитие механики в первой половине XIX столетия

Прежде чем перейти к описанию событий в истории физики начала XIX столетия, рассмотрим кратко развитие механики в первой половине XIX в.

Трудами Эйлера, Лагранжа и других математиков и механиков XVIII в. сформировалась та отрасль математического естествознания, которая получила название теоретической механики. В качестве таковой она выделилась из физики, и ее развитие было более тесно связано с развитием математики, чем физики.

В историю механики существенный вклад внесли и русские ученые: математик и механик М. В. Остроградский (1801-1862), имя которого встречается в физике в связи с теоремой Остроградского–Гаусса, П.Л.Чебышев (1821– 1894), А.М.Ляпунов (1857-1918) и многие другие.



К. Ф. Гаусс

Деятельность европейских и русских механиков XIX в. рассматривается в истории механики, и мы на ней останавливаться не будем. Мы упомянем здесь коротко о некоторых механиках, работавших после Лагранжа, продолживших его дело и внесших в механику новые понятия, важные для физики.

В 1803 г. вышел труд Луи Пуансо (1777–1859) «Элементы статики» («Пуансо ввел новое динамическое понятие пары сил, изучил свойства пар, сформулировал общий закон сложения сил, действующих на тело, и общие условия равновесия).

В 1811 г. вышел «Трактат о механике» Симеона Пуассона (1781–1840). В этом трактате Пуассон развивает и популяризирует традиции Лагранжа, иллюстрируя общие предположения многочисленными примерами. «Трактат» Пуассона долгие годы служил учебным пособием по механике.

Математик Жан Виктор Понселе (1788–1867), бывший солдат наполеоновской армии и русский военнопленный, ввел в механику важное понятие работы. Это понятие фигурирует и в «Трактате о механике твердых тел и о расчете действия машин» (1829.) Гас-пара Гюстава Кориолиса (1792–1843). Кориолис открыл также ускорение, испытываемое движущимися телами во вращающейся системе, и соответствующую силу инерции. Это ускорение ныне известно под названием «кориолисово ускорение», а сила – под названием «сила Кориодиса» (1835).

В 1829 г. вышла работа знаменитого немецкого математика К. ф. Гаусса (1777–1855) «Об одном новом общем принципе динамики». В этом сочинении Гаусс предлагал положить в основу механики вместо принципа наименьшего действия другой, который он формулировал следующими словами: «Движение системы материальных точек, связанных между собою произвольным образом и подверженных любым влияниям, в каждое мгновение происходит в наиболее совершенном, какое только возможно, согласии с тем движением, каким обладали бы эти точки, если бы все они стали свободными, т. е. оно происходит с наименьшим возможным принуждением, если в качестве меры принуждения, примененного в течение бесконечно малого мгновения, принять сумму произведений массы каждой точки на квадрат величины ее отклонения от того положения, которое она заняла бы, если бы была

свободной».

Следует отметить, что этой работе предшествовали многолетние геодезические и астрономические исследования Гаусса, в результате которых им был найден метод наименьших квадратов, играющий важную роль в теории ошибок и обработке экспериментальных данных. Сформулированный выше принцип наименьшего принуждения Гаусса близко подходит к методу наименьших квадратов: природа действует таким образом, что сумма квадратов отклонений движения точки от движения, невозмущенного действием сил, является минимальной.

Особенно важную роль вариационный принцип наименьшего действия сыграл в работах У.Р.Гамильтона (1805-1865).

Уильям Роуан Гамильтон ирландский математик и физик. С 1827 г. он был профессором астрономии в Дублинском университете и директором астрономической обсерватории университета.

В 1834 г. Гамильтон выступил с программной статьей «Об общем методе в динамике, посредством которого изучение движений всех свободных систем притягивающихся или отталкивающихся точек сводится к отысканию и дифференцированию одного центрального соотношения или характеристической функции».

Характеризуя развитие механики со времен Ньютона, Гамильтон выделяет учение славянского ученого Руджера Иосипа Бошковича, современника и ровесника Ломоносова, пережившего его более чем на двадцать лет (Бошкович родился 18 мая 1711 г. в Дубровнике, в Далмации, умер 13 февраля 1787 г. в Милане, в Италии. Бошкович в 1760 г., еще при жизни Ломоносова, был избран почетным членом Петербургской Академии наук).

В основном сочинении «Теория натуральной философии, приведенная к единому закону сил, существующих в природе», вышедшем в 1758 г., Бошкович рассматривает мир как совокупность точек (атомов, которые он мыслит как центры сил), взаимодействующих друг с другом с силами, модуль и направление которых меняется с расстоянием так, что притягательные силы переходят в отталкивательные, и наоборот. Гамильтон рассматривает его труд как переворот в механике, сделавший ее «более динамичной и сводящей все связи и действия тел к притяжению или отталкиванию точек».

Именно эту идею Гамильтон кладет в основу своей системы. Но для того чтобы определить движение системы точек, надо интегрировать дифференциальные уравнения второго порядка, «число которых втрое больше числа притягивающихся или отталкивающихся точек».

Естественно, что с увеличением числа точек эта задача необычайно усложняется, и для десяти точек, например, надо интегрировать тридцать дифференциальных уравнений второго порядка. Гамильтон предлагает метод, в котором «задача сводится к отысканию и дифференцированию одной-единственной функции, удовлетворяющей двум уравнениям в частных производных первого порядка и второй степени». Эту функцию Гамильтон называет характеристической, она определяется интегралом

$$V = \int_0^t 2T dt,$$

где $2T$ - «полная живая сила» сумма произведений масс частиц на квадраты их скоростей. Она связана с введенной Гамильтоном функцией H , определяемой законом живой силы $T = U + H$, уравнением

$$\frac{\partial V}{\partial H} = t.$$

Соотношение $T = U + H$, где U - силовая функция, сейчас записывают в виде: $H = T + U$, где U - потенциальная энергия, отличающаяся от силовой функции U Гамильтона

знаком.

Во второй статье – «Второй очерк об общем методе в динамике», опубликованной в 1835 г., Гамильтон вводит вместо характеристической функции V главную функцию S . Он применяет свою знаменитую систему канонических уравнений, которая в современной форме, в случае консервативных сил, имеет вид:

$$\dot{q}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i}, \quad \dot{p}_i = -\frac{\partial H}{\partial q_i}.$$

Число этих уравнений n ($i = 1, 2, \dots, n$) равно числу степеней свободы системы. Главная функция S вводится уравнением:

$$S = \int_0^t (T + U) dt.$$

Она сейчас носит название «действия», и канонические уравнения получаются из принципа наименьшего действия.



Т. Юнг

Работам Гамильтона по динамике предшествовали его работы по оптике лучей, написанные им в период 1827–1832 гг., под общим названием «Теория систем лучей».

Гамильтону принадлежит заслуга в установлении оптико-механической аналогии, сыгравшей важную роль в истории создания волновой механики Шредингера.

Метод Гамильтона в динамике был разработан и развит в «Лекциях по динамике» Карла Густава Якоби (1804–1851). Якоби был родным братом русского академика Бориса Семеновича Якоби и сам был почетным членом Петербургской Академии наук.

Теория Гамильтона–Якоби получила широкое применение в XX в. в решении задач атомной механики. Оператор Гамильтона, или «гамильтониан», является одним из основных операторов современной квантовой механики, и таким образом полузабытая физиками теория механики и оптики обрела новую жизнь в нашем столетии.

Развитие волновой оптики в первой половине XIX столетия

Факты из истории оптики начала XIX столетия показывают, как трудно раскрыть закономерности развития науки, которое происходит не путем последовательной и плавной

эволюции, а сплошь и рядом испытывает неожиданные скачки и потороты. Успехи ньютоновской механики XVIII в. оказали огромное влияние на все области физики, в том числе и на оптику. Несмотря на поддержку теории Гюйгенса Ломоносовым и защиту волновой теории света Эйлером, победа корпускулярной теории была бесспорной, а самый принцип Гюйгенса был забыт.

Что касается открытых еще в XVII в. явлений дифракции и интерференции, то ведущие ученые конца XVIII – начала XIX в. не сомневались в том, что они получат исчерпывающее объяснение в терминах корпускулярной теории. Не удивительно, что гениальные исследования Юнга по интерференции и дифракции света были встречены с недоверием и даже с насмешкой, поскольку в них эти явления объяснялись с точки зрения волновой теории. Вскоре эти исследования получили мощную поддержку в работах Френеля, и волновая теория, несмотря на оппозицию ведущих ученых и необычайные трудности, вызванные открытием поляризации, восторжествовала.

Юнг. Томас Юнг родился 13 июня 1773 г. Уже в двухлетнем возрасте он научился читать, в девятилетнем возрасте изучил латинский и греческий языки и к 14 годам в совершенстве знал до десяти языков, в том числе древнееврейский, персидский и арабский. Эти знания помогли ему позднее в работе по расшифровке египетских иероглифов. В дальнейшем Юнг изучал медицину, получив в 1795 г. степень доктора медицины. За два года до этого он опубликовал работу по физиологической оптике «Наблюдения над процессом зрения», в которой разработал теорию аккомодации глаза? В дальнейшем Юнг занимался проблемами волновой оптики, сформулировав в 1800 г. принцип суперпозиции волн и объяснив интерференцию света. Самый термин «интерференция» был введен в науку Юнгом. Его основной труд «Лекции по натуральной философии» вышел в 1807 г. в двух томах.

Кроме волновой оптики, имя Юнга в физике связывается с важной константой теории упругости, так называемого «модуля Юнга», и теорией цветного зрения, основанной на допущении в сетчатой оболочке глаза трех сортов чувствительных волокон, соответствующих трем основным цветам. Заметим, что Юнг в своих «Лекциях» упоминает и труд Ломоносова «Слово о происхождении света». Юнг одним из первых ввел в физику термин «энергия».

Разносторонность дарований Юнга изумительна. В его сочинениях рассматриваются вопросы механики, оптики, акустики, теплоты, физиологической оптики, технологии, кораблестроения, астрономии, навигации, геофизики, медицины, филологии, ботаники, зоологии и пр. Им было написано около 60 статей для «Британской энциклопедии».

Юнг был великолепным знатоком музыки, играл почти на всех музыкальных инструментах, прекрасно знал животных, был цирковым артистом – наездником и канатоходцем. Умер Юнг 10 мая 1829 г.

Волновая теория света сформулирована Юнгом в Бэкеровской лекции «Теория света и цвета», опубликованной в 1801 г. Она основана на следующих гипотезах:

«I. Светоносный эфир, в высокой степени разреженный и упругий, заполняет вселенную.

II. Волнообразные движения возбуждаются в этом эфире каждый раз, когда тело начинает светиться.

III. Ощущение различных цветов зависит от различной частоты колебаний, возбуждаемых светом на сетчатке.

IV. Все материальные тела притягивают эфирную среду, вследствие чего она накапливается в их веществе и на малом расстоянии вокруг них в состоянии большей плотности, но не большей упругости».

Сущность волновой теории света Юнг кратко выражает следующим предложением: «Излучаемый свет состоит из волнообразных движений светоносного эфира».

Таким образом, все богатство красок природы было сведено Юнгом к колебательному движению эфира, а различие цветов – к различным частотам этих колебаний. Световые

колебания распространяются в эфире от различных источников, не мешая друг другу, и если они в данной точке направлены одинаково, то «их совместное действие представляет комбинацию движений каждого из них».

Этот принцип суперпозиции позволил Юнгу в 1802 г. найти «простой и общий закон», согласно которому «везде, где две части одного и того же света попадают в глаз по разным направлениям, свет становится или более сильным там, где разность путей есть целое кратное некоторой длины, и наименее сильным в промежуточных состояниях интерферирующих частей, и эта длина различна для света различных цветов».

Так в оптике появился принцип интерференции. Этот принцип Юнг подтвердил на таком опыте. Солнечный свет, выходящий из небольшого отверстия в ставне окна, освещал экран, в котором кончиком булавки были сделаны два отверстия на небольшом расстоянии друг от друга. Свет, выходящий коническими пучками из обоих отверстий (Юнг знал дифракцию и формулировал ее в одной из работ 1801 г.), перекрещивался в некоторой области светового поля за экраном, и на приемном экране появлялись светлые и темные полосы. Когда закрывали одно из отверстий, то полосы исчезали и на приемном экране были видны лишь дифракционные кольца от другого отверстия.

Измеряя ширину полос, Юнг смог определить ту «некоторую длину», которая фигурировала в его законе. Это были первые в истории физики определения длины волны, которая оказалась для красного света равной 0,7 мкм (Юнг измерял длину в дюймах), 0,42 мкм для крайнего фиолетового.

О. Френель



Как мы знаем, интервалы в четверть длины волны измерял Ньютон в своем опыте с кольцами, но он не пользовался понятием длины световой волны. Юнг впервые сознательно определил длины световых волн и таким образом положил начало спектрометрии.

Совершенно естественно, что Юнг обратился к опыту с кольцами Ньютона и правильно истолковал появление центрального темного пятна изменением фазы колебаний при отражении от более плотной среды. Юнг проверил свою теорию опытом, налив между линзой из кронгласа и пластинкой из флинтгласа каплю сассафрасового масла. В этой установке световой луч проходил последовательно через три среды в направлении убывания их показателей преломления, и центральное пятно стало белым.

Юнгу было уже известно о существовании невидимых, инфракрасных лучей («тепловых»), открытых Вильямом Гершелем в 1800 г., и ультрафиолетовых («химических») лучей, открытых Иоганном Риттером и Волластоном в 1802 г. Юнг показал, спроектировав кольца Ньютона на бумагу, пропитанную ляписом, что и для ультрафиолетовых лучей справедлив принцип интерференции. На бумаге были обнаружены три темных кольца. Это

была первая спектрограмма ультрафиолетового света.

Как уже говорилось, теория Юнга была встречена с недоверием и в самой Англии подвергалась ожесточенным нападениям. Особенно суровое испытание ожидало волновую теорию в связи с открытием Малюса.

Малюс. Этьенн-Луи Малюс родился 23 июня 1775 г. Он учился в Мезьерской инженерной школе, однако война помешала ему окончить школу; его мобилизовали в армию на фортификационные работы. Здесь его технические и организационные таланты были замечены, и он был направлен в только что организованную Политехническую школу, которую и окончил в 1796 г.

Однако война не отпускала Малюса. Он принял участие в экспедиции Наполеона в Египет, откуда был направлен в Сирию, участвовал во взятии Яффы. В городе вспыхнула чума, и Малюс получил приказ остаться с больными и ранеными солдатами. Вскоре он сам заболел чумой. Все окружавшие Малюса люди умерли. «Я остался один—без сил, без помощи и друзей», — вспоминал он. Более месяца он провел в лазарете вместе с другими зачумленными, выздоровел и продолжал участие в египетском походе. После перемирия он вернулся на родину, продолжая военно-инженерную службу и интенсивно занимаясь наукой.

В 1810 г. он стал членом Института, т. е. академиком. Однако ослабленный болезнью и тяготами военной жизни организм Малюса, подточенный вдобавок открывшимся туберкулезом, не выдержал, и 24 февраля 1812 г. он умер.

Оптические исследования Малюса начались еще во время египетского похода, а в 1807 г. он представил в Академию два мемуара по оптике. Ему принадлежит теорема геометрической оптики: пучок лучей, нормальный к некоторой поверхности, остается таковым после произвольного числа отражений и преломлений.

В 1808 г. в связи с конкурсной задачей Парижской Академии наук он сосредоточил свое внимание на явлении двойного лучепреломления. Размышляя над этим явлением, Малюс рассматривал однажды через кристалл исландского шпата отражение лучей заходящего солнца от стекол окон Люксембургского дворца и заметил, что одно из изображений исчезло. С наступлением темноты он повторил опыт со светом свечи, наблюдая через кристалл свет, отраженный от поверхности воды, и установил, что при определенных углах падения одно из изображений исчезает. Тщательно исследуя явление, Малюс открыл в световом луче асимметрию, аналогичную поляризационным свойствам частиц.

Идея о поляризационных свойствах корпускул была высказана еще Ньютоном. Малюс принял эту идею и ввел в оптику термин «поляризация света». Он установил, что поляризация света наблюдается для лучей, испытавших двойное преломление, и что эти лучи поляризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях. Он установил также, что свет падающий на отражающую поверхность под определенным углом, поляризуется.

Брюстер (1781-1868) в 1815 г. нашел, что этот угол полной поляризации удовлетворяет уравнению $\operatorname{tg} \alpha = n$, где n - показатель преломления отражающего вещества.

В 1810 г. Малюс открыл закон изменения интенсивности поляризованного луча при прохождении через анализатор: интенсивность прошедшего света пропорциональна квадрату косинуса угла, образованного плоскостью поляризации луча с плоскостью главного сечения анализирующего кристалла.

Открытие поляризации вдохновило сторонников корпускулярной теории света. Лаплас построил теорию двойного лучепреломления света в одноосных кристаллах, рассматривая двойное Действие молекул кристалла на световые корпускулы. Он вывел также зависимость между скоростью необыкновенного и обыкновенного лучей и углом, образованным направлением обыкновенного луча с оптической осью. Био обобщил закон Лапласа на двухосные кристаллы.

Араго открыл явление хроматической поляризации в одноосных кристаллах, а также вращение плоскости поляризации в кварце. Био обнаружил хроматическую поляризацию в сходящихся лучах сначала в одноосных, а потом в двухосных кристаллах (1813–1814) В 1815 г. он открыл законы вращения плоскости поляризации.

Область оптических явлений необычайно расширилась, и назрела потребность в единой теории, объясняющей все разнообразие явлений света. Такая теория совершенно неожиданно для современников и в особенности для парижских академиков была создана инженером Огюстеном Френелем. Неожиданность заключалась в том, что эта теория была волновой, казалось бы, полностью скомпрометированной открытием Малюса и последующими открытиями поляризационных явлений.

Френель. Огюстен Жан Френель родился 10 мая 1788 г. в Нормандии в семье архитектора. Отличаясь слабым здоровьем, Френель учился с трудом, однако рано обнаружил технические способности и шестнадцати с половиной лет поступил в Политехническую школу. Оттуда он перешел в Школу мостов и дорог, по окончании которой работал по ремонту и прокладке дорог в Вандее и других округах Франции. Не чувствуя в себе организаторских способностей, Френель тяготился своей работой и пытался отвлечься научными занятиями то в области философии и богословия, то в области техники и химии. Наконец, прочитав сообщение о мемуарах Био, посвященных поляризации, он заинтересовался этим явлением и начал заниматься оптикой.

Но политические события: бегство Наполеона с Эльбы и его победа – привели к отставке роялиста Френеля. С апреля 1815 г. до нового назначения в декабре 1815 г. он напряженно занимался научной работой и 15 октября 1815 г. представил в Академию наук свой первый мемуар по дифракции света. За первым трудом последовал ряд других, стяжавших Френелю мировую славу. В 1823 г. он был избран членом Академии наук. Но уже в 1824 г. болезнь заставила Френеля отойти от научной деятельности. 14 июля 1827 г. он умер.

В своем первом мемуаре о дифракции света, «в котором специально изучается явление цветных каемок, наблюдающихся у теней, отбрасываемых телами, освещенными светящейся точкой», Френель рассматривает дифракцию от проволоки и отражение и преломление света с точки зрения волновой теории. Он начинает с критики корпускулярной теории света Ньютона. Френель считает сомнительным отсутствие взаимодействия световых частиц среды, в которой свет распространяется. А между тем свет распространяется в воздухе почти с неизменной скоростью.

Различие в цветах нельзя объяснить различием в скоростях частиц, и, следовательно, приходится допустить «такое же количество сортов световых частиц, сколько имеется цветов или различных оттенков в солнечном спектре». «Приступы легкого отражения и легкого прохождения почти что необъяснимы в системе Ньютона», – пишет далее Френель. Он указывает, что явление двойного преломления «заставило Ньютона допустить еще новую гипотезу, которая является весьма необычайной, а именно что световые частицы имеют полюсы...». Вот это обилие гипотез и заставляет Френеля сделать вывод, что «теория колебаний лучше подходит для объяснения всех этих (т. е. световых. – П. К.) явлений, чем теория Ньютона».

Наиболее существенным возражением против волновой теории было прямолинейное распространение света. «Это возражение, – пишет Френель, – единственное, на которое мне кажется затруднительным дать исчерпывающий ответ, привело меня к изучению размытых теней».

С изумительной изобретательностью и мастерством Френель ставит опыты по дифракции света. Он получает светящуюся яркую точку с помощью «весьма выпуклой линзы», в качестве которой он «использовал шарик меда, помещенный на небольшом отверстии, сделанном в медном листе. Освещенная этим шариком железная проволока, каемки которой я измерял, давала еще весьма четкие изображения, даже в том случае, когда она находилась на расстоянии только одного сантиметра от световой точки». Френель показал, что дифракционные полосы являются результатом интерференции лучей, идущих от краев проволоки: «каемки образуются в результате перекрещивания этих лучей». Он нарисовал картину волнового интерференционного поля и показал, что «ширины этих каемок, измеренные на различных расстояниях от проволоки, являются не ординатами

прямой линии, а ординатами гиперболы, абсциссами которой являются эти расстояния ».

Ньютон в одном из писем, рассматривая некоторые вопросы акустики, изобразил пересекающиеся системы волн, распространяющихся от двух одинаковых источников. Ту же картину изображает теперь Френель, но источниками волн у него служат края препятствия. Френель ясно видит стационарное распределение максимумов и минимумов волнового поля, расположенных на гиперблоидах вращения. Ньютон этой картины не увидел, хотя в «Началах» описывает случай погашения волнового движения другим, находящимся в противофазе.

Френель в своих опытах измерил длины волн различных цветов по формуле $y=bd/2c$, где y - ширина полосы, b - расстояние от проволоки до экрана, c - ширина проволоки, d - длина волны. Принцип интерференции дал возможность Френелю объяснить законы отражения и преломления тем, что световые колебания погашают друг друга для всех направлений, кроме направлений, удовлетворяющих закону отражения или закону Снеллиуса – Декарта. Из своей теории Френель сделал вывод, противоположный выводу Ньютона, а именно «что скорость света в стекле меньше, чем скорость света в воздухе».

Опыты с кольцами Ньютона Френель воспроизвести не мог, не имея соответствующих линз. Однако в дополнениях ко второму мемуару, представленных в Академию наук 15 июля 1816 г., Френель уже описывает опыт с кольцами Ньютона и интерпретирует его в духе волновой теории. Здесь же он дает теорию интерференции в плоскопараллельных пластинках и выводит формулу для разности хода интерферирующих лучей, приводимую теперь во всех курсах физики ($d = 2x \cos i$, где x - толщина пластинки, i - угол преломления).

Наконец, в этом же дополнении он описывает свой классический опыт с зеркалами. Френель отмечает, что этот опыт удался ему лишь «после нескольких неудачных опытов».

«Мимходом замечу, – пишет он, – что лишь теория колебаний могла привести к идее постановки такого рода опыта. Этот опыт настолько труден, что почти невозможно, чтобы чистый случай на него натолкнул».

Во втором мемуаре, опубликованном в мартовском номере «Анналов химии и физики», Френель воскрешает забытый принцип Гюйгенса: «Наиболее естественная гипотеза состоит в том, что молекулы тела, приведенные в колебание падающим светом, становятся центрами испускания новых волн». Дополняя принцип Гюйгенса принципом интерференции,

Френель превращает геометрический принцип в физический и успешно решает с его помощью ряд дифракционных задач.

Принцип интерференции, который Френель довольно неявно формулирует в своем первом мемуаре, был, как мы видели, уже сформулирован Юнгом, и Араго сказал об этом Френелю. Френель в своем письме к Араго от 23 сентября 1815 г. пишет, что он, не зная английского языка, не мог прочитать этой книги. Через месяц Френель сообщает Араго: «Очень простой эксперимент доказал мне, что световые лучи могут действовать друг на друга, ослабляться и даже почти совершенно погашаться, когда их колебания мешают друг другу, и, наоборот, добавляться и взаимно усиливаться, когда они колеблются согласно. На этом принципе я основываю мое объяснение дифракции». Френель совершенно независимо от Юнга пришел к принципу интерференции. Только от Араго он узнал о том, что то же самое открыл Юнг.

Франсуа Доминик Араго (1786–1853) сыграл большую роль в развитии и пропаганде волновой теории. Он содействовал приезду Френеля в Париж в 1816 г., где в течение десяти месяцев Френель выполнял ряд опытов по дифракции и интерференции. В начале 1817 г. Парижская Академия наук предложила на премию задачу о дифракции, формулируя ее следующим образом:

1) определить с помощью точных опытов все эффекты дифракции световых лучей, прямых и отраженных, когда они проходят одновременно или раздельно вблизи границ одного или нескольких тел, ограниченных или бесконечных, принимая во внимание расстояния между этими телами, равно как и расстояние до источника света, откуда исходят лучи;

2) с помощью математической индукции вывести из этих опытов движения лучей при их прохождении вблизи тел».

Сама формулировка задачи не оставляет сомнения, что авторы ее явно имели в виду корпускулярную теорию света. Их интересовала теория движений световых частиц вблизи самих дифрагирующих тел. Во взаимодействии световых корпускул с молекулами тел они усматривали «секрет физического процесса, благодаря которому лучи изгибаются и разделяются на различные полосы разного направления и интенсивности». Френель колебался, принять ли участие в конкурсе, но уговоры друзей и поддержка младшего брата фюльжанса, помогавшего ему в опытах, возымели свое действие. 20 апреля 1818 г. он представил в Академию наук в запечатанном конверте «Записку о теории дифракции».

В первых же параграфах этой записки он показывает, что эмиссионная теория света не в состоянии объяснить явление дифракции. Молекулярные взаимодействия не распространяются на такие значительные расстояния, которые достигают полмиллиметра. Массы краев дифрагирующего тела не играют никакой роли; «...Нить и обушки бритвы дают совершенно одинаковые каемки». Френель описывает опыт с дифракцией света, проходящего между двумя близкими стальными пластинками, вертикальные края которых с одной стороны были острыми, а с другой – округленными. Он помещал острый край против закругления и наоборот и не заметил никакого изменения дифракционной картины: полосы были прямыми, как будто бы обе пластинки были обращены друг к другу одинаковыми краями. Из этого опыта следует, что явления дифракции совершенно необъяснимы с точки зрения эмиссионной теории. «Волновая теория, как мне кажется, наоборот, приводит к полному объяснению этих явлений при помощи принципа Гюйгенса, который можно сформулировать следующим образом: колебания световой волны в каждой из ее точек равны сумме всех элементарных движений, которые были бы посланы в один и тот же момент каждой действующей изолированной частью этой волны, рассматриваемой в каком-нибудь из своих предыдущих положений».

Применяя свой расчет к случаю дифракции от края экрана, он находит «периодические изменения интенсивности света по мере того, как свет удаляется от края геометрической тени».

Комиссия в составе Био, Араго, Лапласа, Гей-Люссака и Пуассона присудила премию мемуару под девизом «*Natura simplex et fecunda*» («Природа проста и плодотворна»), т. е. Френелю, написавшему этот девиз на конверте. При обсуждении работы возник следующий эпизод, описанный в докладе комиссии и прочитанный Араго: «Один из членов нашей комиссии – г-н Пуассон – вывел из сообщенных автором интегралов тот удивительный результат, что центр тени от круглого непрозрачного экрана должен бы быть таким же освещенным, как и в том случае, если бы экран не существовал, – это при условии, что лучи проникают в тень под малыми углами падения. Это следствие было проверено прямым опытом, и наблюдение полностью подтвердило данные вычисления». Расчеты Пуассона Араго проверил на опыте, превратив таким образом возражение Пуассона в убедительнейшее доказательство справедливости теории Френеля.

Следует отметить, что свет в центре тени круглого экрана (шарика) наблюдал еще в 1715 г. Ж. Н. Делиль (1688-1768), бывший с 1726 по 1747 г. членом Петербургской Академии наук.

Премиированный мемуар Френеля о дифракции был в своей значительной части опубликован в двух статьях в «Анналах физики и химии» за 1819 г. Полностью он был напечатан в «Трудах Парижской Академии».

Мемуар открывается рассмотрением двух систем, «которые до сего времени разделяли ученых в их воззрениях на природу света». Здесь интересен философский аргумент в пользу волновой теории, выраженный латинским эпиграфом «Природа проста и плодотворна» и принципом: природа создает максимум явлений при помощи минимума причин. Френель указывает, что хотя и «очень трудно открыть основания этой замечательной экономии», но этот «общий принцип философии физических наук... может направлять усилия

человеческого ума».

Конкретный материал мемуара Френеля очень богат. Он описывает опыты и измерения различных случаев дифракции и интерференции. При этом он постоянно обращает внимание на неудовлетворительность эмиссионной теории, на ее неспособность объяснить описываемые явления без противоречий и сомнительных допущений. Он показывает, что волновая теория легко объясняет эти явления путем суперпозиции волн, и выводит основную формулу интерференции:

$$A^2 = a^2 + a'^2 + 2aa' \cos\left(2\pi \frac{c}{\lambda} \cdot \right),$$

которая сегодня вошла во все учебники. Помимо интерференционного опыта с зеркалами, Френель описывает опыт с бипризмой. В этом же мемуаре он дает новую формулировку принципа Гюйгенса и развивает метод зон, ныне также вошедший во все учебники. Мемуар заполнен таблицами расчетов различных случаев дифракции. Особо автор разбирает дифракцию от круглого экрана и круглого отверстия, используя свой метод зон.

Мемуар заканчивается объяснением преломления света по волновой теории.

Теперь оставалось подчинить волновой теории явления поляризации и хроматической поляризации. Изучая интерференцию поляризованных лучей, Френель еще в 1816 г. отмечал, что волновая теория «пока что не дала объяснения явлению поляризации», и добавлял, что, по-видимому, для такого объяснения она должна быть видоизменена: «Эта модификация света состоит в поперечности световых волн». Однако предположение о поперечности световых волн, как отмечал Френель, «настолько противоречило принятым представлениям о природе колебания упругих жидкостей, что прошло немало времени, прежде чем я принял его окончательно».

Юнг, «более смелый в своих предположениях», сообщил эту идею в письме к Араго от 12 января 1817 г. Но Френель, который пришел к идее поперечности световых волн раньше Юнга, не торопился публиковать ее. Он хорошо понимал, в какое противоречие вступает эта гипотеза с механикой упругих сред. Только тщательные эксперименты и прежде всего установленный ими Араго факт, что лучи, первоначально поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях, не интернируют, даже если их привести к одной плоскости поляризации, заставили его принять гипотезу поперечности световых волн.

Френель, высказав идею, ад поперечные колебания в линейно поляризованном свете совершаются в одной плоскости, перпендикулярной плоскости поляризации, определил обычный свет «как совокупность или, точнее, как быструю последовательность систем, поляризованных по различным направлениям волн». Акт поляризации, по Френелю, «состоит не в создании этих поперечных движений, а в разложении их по двум перпендикулярным неизменным направлениям и в от делении составляющих друг от друга».

В этой смелой гипотезе, настолько смелой, что даже ревностный сторонник Френеля Араго отступил, не отважившись следовать за ним, мы видим один из ярких примеров того как наука идет от «явного для нас» к «явному по природе», вопреки сложившимся представлениям и традициям. Френель задал на многие годы головоломную задачу теоретикам, каким образом эфир, настолько тонкий, что не оказывает никакого сопротивления движению сквозь него небесных тел, вместе с тем не оказывает упругого сопротивления сжатию и расширению, а упруго сопротивляется только деформациям сдвига. Это свойство роднит его с твердым телом, а не с едкостью или газом, притом таким твердым телом, которое абсолютно несжимаемой не допускает продольных волн. Однако гипотеза поперечных волн позволила френелю построить теорию отражения и преломления света, а также теорию двойного преломления.

В мемуаре «О расчете цветов, которые вызывает поляризация в кристаллических пластинках», опубликованном в «Анналах физики и химии» за 1821 г., Френель излагает основы своей теории поляризации. Он рисует картину поперечных колебаний частиц

упругой среды. «Очевидно, – пишет Френель, – что к этим новым колебаниям, перпендикулярным лучам, можно применять те же рассуждения и вычисления, которые применяются в случае, когда колебательное движение происходит вдоль направления распространения». Это дает ему возможность применить к поляризованному свету принцип интерференции и таким путем «объяснить многие оптические явления».

В частности, Френель строит теорию поляризации света при отражении, считая, что при переходе света из одной прозрачной среды в другую упругость эфира не меняется, а меняется его плотность. Вначале он рассчитывает интенсивность отраженного света, поляризованного в плоскости падения, но в добавлении к статье рассматривает и случай отражения света, поляризованного перпендикулярно плоскости падения.

В мемуаре о двойном преломлении, представленном в Академию наук 9 декабря 1822 г., Френель описывает новый поляризационный прибор – стеклянный параллелепипед, известный ныне под названием «параллелепипед Френеля». В этом приборе предварительно поляризованный свет «последовательно, на двух противоположных сторонах, претерпевает два полных внутренних отражения при (предельном) угле падения приблизительно в 50° и в плоскости, наклоненной на 45° к первоначальной плоскости поляризации». При этом выходящий из стеклянного параллелепипеда свет «является как будто полностью деполаризованным»... Френель выясняет, что на самом деле этот свет «можно рассматривать как состоящий из двух пучков, следующих по одному и тому же пути, но поляризованных в перпендикулярных направлениях и отличающихся в своем ходе на четверть длины волны». Такой свет Френель называет поляризованным по кругу, а самую поляризацию – круговой (циркулярной) поляризацией. «Между прямолинейной и круговой поляризациями существует множество промежуточных степеней различных поляризаций, которые обладают характерными свойствами обеих этих поляризаций и которым, исходя из тех же теоретических соображений, можно было бы дать наименование эллиптических поляризаций».

Таким образом, Френель на языке волновой теории полностью описал явление поляризации, и введенные им понятия сохраняют свое значение и сейчас. Он указал методы экспериментального анализа поляризации света, используемые и поныне. К своим опытам он прибавил изящный метод разделения лучей, поляризованных по кругу, в противоположные стороны. Воспользовавшись наблюдением Био, что существуют две модификации кварца (горного хрусталя, по тогдашней терминологии), из которых одна вращает плоскость поляризации вправо, а другая влево, он составил призму из трех частей; входной и выходной одного сорта, промежуточной – другого. Предполагая, что скорости распространения света, поляризованного по кругу влево и вправо, в различных сортах кварца различны, он нашел, что линейно поляризованный свет в такой составной призме разделится на два поляризованных по кругу луча. Они выйдут из выходной призмы, отклонившись в противоположные стороны. «...Мы получаем этим способом весьма заметное разделение двух изображений, которое можно было бы еще увеличить, умножая число призм», – пишет Френель.

7 января 1823 г. Френель представил Академии наук «Мемуар о законе модификаций, которые сообщаются отражением поляризованному свету». Здесь он дает механическое обоснование формул отражения света, поляризованного в плоскости падения, и света, поляризованного в плоскости, перпендикулярной плоскости падения. Если положить, что свет поляризован в плоскости, составляющей с плоскостью падения угол α , и амплитуда колебаний равна 1, то амплитуда составляющей в плоскости падения будет $\sin \alpha$, а составляющей в плоскости, перпендикулярной плоскости падения, будет $\cos \alpha$.

Амплитуды соответствующих составляющих отраженного света будут:

$$- \sin \alpha \frac{\operatorname{tg}(i - i')}{\operatorname{tg}(i + i')} \quad \text{и} \quad - \cos \alpha \frac{\sin(i - i')}{\sin(i + i')},$$

где i - угол падения, i' – угол преломления. Углы падения и преломления связаны, по Френелю, соотношением:

$$\sin i : \sin i' = \frac{1}{\sqrt{d}} : \frac{1}{\sqrt{d'}} ,$$

где d - плотность первой среды, d' – плотность второй среды, упругость же эфира в обеих средах Френель принимает одинаковой.

Из своих формул Френель выводит закон Малюса– Брюстера. Он обосновывает свои формулы законом сохранения живых сил и гипотезой, что движения, параллельные границе раздела, в обеих волнах одинаковы. Из формул Френеля вытекает поворот плоскости поляризации в отраженной и преломленной волнах. Весьма замечательно, что Френель распространил свои формулы и на случай полного отражения, смело введя мнимые величины: для углов, больших предельного, $\sin i'$ становится больше 1, а $\cos i'$ – мнимым.

Френель исходит при этом из того, что формулы, справедливые до предельного угла, должны «в силу общего закона непрерывности» быть правильными и при переходе через этот предел, однако «затруднение заключается в том, как их интерпретировать и как разгадать то, что возмущает анализ в этих мнимых выражениях». Френель разгадал, что же означает мнимое выражение: оно означает изменение фазы в отраженной волне. Оба компонента испытывают скачки разной величины.

Поразительно, как много сделал Френель за столь короткое время. Им по существу была полностью создана классическая волновая оптика. К описанным выше результатам следует добавить его теорию распространения света в одноосных и двухосных кристаллах, развитую в работах о двойном лучепреломлении в 1821–1822 гг. Френель развил идеи Гюйгенса о распространении волн в одноосных кристаллах. Идеи Гюйгенса он настолько высоко ценил, что ставил их выше всех открытий в оптике Ньютона, утверждая, что открытие Гюйгенса, «быть может, труднее сделать, нежели все открытия Ньютона в области явлений света». Несомненно, что в этом утверждении отразился характер борьбы с эмиссионной теорией, которую вел Френель во всех своих оптических работах.

Для описания распространения света в кристаллах Френель ввел замечательное построение: эллипсоид упругости Френеля. Он установил, что в анизотропной кристаллической среде всегда существуют три прямоугольные оси упругости. Он строит эллипсоид упругости, который дает закон изменения упругости анизотропной среды и скоростей для различных направлений распространения волн. Этот эллипсоид имеет две диаметральные плоскости, пересекающие его по кругам. Для волн, плоскости которых параллельны этим кругам, всегда имеется одна скорость распространения, каково бы ни было направление их колебаний. Эти направления Френель назвал оптическими осями и показал, что никогда не бывает более двух оптических осей в анизотропных средах. Для одноосных кристаллов поверхность упругости становится поверхностью вращения.

Френель заложил, таким образом, основы кристаллооптики. О том, насколько плодотворным оказался предложенный им метод можно судить по тому, что в 1832 г. Гамильтон вывел из его теории следствие о существовании в двухосных кристаллах тонкого явления – конической рефракции. Если в таких кристаллах пучок света идет по направлению оптической оси, то он выходит из кристаллической пластинки в виде полого светового конуса (внешняя коническая рефракция). Конический пучок внутри кристалла выходит параллельным цилиндрическим пучком. Это явление невозможно обнаружить эмпирически, без помощи теории. Ллойд открыл его в том же 1832 г. экспериментально, руководствуясь теорией Френеля – Гамильтона. Это открытие было блестящим триумфом волновой теории света.

В истории физики важную роль сыграло опубликованное в 1818 г. в «Анналах химии и физики» письмо Френеля Араго по вопросу о влиянии движения Земли на оптические

явления. Араго пытался обнаружить это явление, измеряя разность зенитных расстояний звезды, наблюдаемой непосредственно и через призму. Араго такого влияния не обнаружил.

Это дало повод Френелю обсудить на основании волновой теории вопрос о влиянии движения Земли на распространение света в преломляющей среде. Френель знает, что «скорость, с которой распространяется волна, не зависит от движения тела, которое ее испускает». Он полагает, что результат Араго можно объяснить, если предположить, «что эфир свободно проходит через земной шар и что скорость, сообщенная этой тонкой жидкости, представляет собой только небольшую часть скорости Земли и не превышает, например, одной сотой доли этой скорости».

Эта гипотеза частичного увлечения эфира помогла Френелю объяснить, почему «видимая рефракция не изменяется с изменением направления световых лучей по отношению к движению Земли», как это обнаружил Араго и позднее Эйри (1801-1892). При этом Френель полагает, что квадраты длин волн в эфире и преломляющей среде относятся как плотности этих двух сред:

$$d^2 : d'^2 = \Delta' : \Delta.$$

Отсюда коэффициент увлечения

$$k' = 1 - \frac{d^2}{d'^2} = 1 - \frac{1}{\mu^2},$$

где μ – показатель преломления среды. (Если брусок с плотностью эфира A' перемещается со скоростью v параллельно своей образующей, то в нем ежесекундно происходит изменение плотности эфира $v(D' - d)$. Но же изменение происходит, если предположить, что весь эфир A' движется со скоростью $v1 = kv$. Приравняв оба выражения $v(D' - d) - \mu D'$, получим формулу Френеля)

Френель показывает, что абберационный эффект не изменится, если трубу телескопа заполнить водой, что и было подтверждено опытом Эйри в 1871 г. Идея этого опыта принадлежала Бошко-вичу. формула же коэффициента увлечения была подтверждена в 1851 г. опытом физико, повторенным в 1886 г. Майкельсоном, производившим этот опыт с Морли, и в 1914 г. Зеemanом.

Таковы важнейшие результаты, полученные Френелем в оптике. Следует добавить, что Френель не ограничивался теоретическими исследованиями, он стремился сочетать их с экспериментом. Так, всемирную известность приобрела изобретенная им система освещения маяков, в которой важнейшей составной частью была сконструированная им ступенчатая линза, описанная в ме-муаре, представленном в Академию наук 29 июля 1822 г.

Фраунгофер. Современником Френеля был немецкий оптик Йозеф фраунгофер (1787–1826). Сын бедного баварского стекольщика, он рано начал трудовой путь, работая вместе с отцом по стекольному делу, фраунгофер до 14 лет был неграмотным. Оставшись к 12 годам круглым сиротой, он был определен учеником в зеркальную и стекольную мастерскую. Он попал в аварию, когда рухнули два ветхих дома, в том числе и дом с мастерской, и жильцы оказались погребенными под обломками. Все погибли, и лишь четырнадцатилетнего фраунго-фера откопали в очень тяжелом состоянии. Этот случай имел, однако, и благоприятные для Фраунгофера последствия. Очевидец катастрофы банкир Утцшнейдер стал оказывать покровительство фраунгоферу, и тот смог, продолжая работать в мастерской, посещать воскресную школу. Упорный труд превратил фраунгофера в хорошего мастера оптического стекла, и в 1806 г. Утцшнейдер определил его в Оптико-механический институт, принадлежавший фирме Рейхенбаха, Утцшнейдера и Либгерра.

Мастерство и талант помогли Фраунгоферу быстро сделать карьеру. Через год, в 1807 г. он становится оптиком института, через два – совладельцем фирмы, еще через два года он

стоит во главе всей баварской оптической промышленности. Созданная им оптическая фирма «Утцшнейдер и Фраунгофер» получила мировую славу, производя первоклассные оптические инструменты. Так фраунгофер прошел путь от бедного неграмотного сироты, ученика стекольного ремесленника, до владельца мировой оптической фирмы, профессора и академика.

Два открытия в оптике обессмертили имя фраунгофера. В 1802 г. Волластон наблюдал в спектре Солнца семь темных линий. Он считал их границами отдельных цветных участков и не исследовал подробно. Только после того как фраунгофер детально изучил это явление (1814–1815) и описал его в 1817 г., в физике появился термин «фраунгоферовы линии», который сохранился до настоящего времени, фраунгофер зафиксировал большое число темных линий и важнейшие из них обозначил буквами.

Вторым фундаментальным открытием фраунгофера была дифракция в параллельных лучах и изобретенная им дифракционная решетка. (*Американец Риттенхауз открыл принцип дифракционной решетки в 1785 г (См.. Вольф Э., Борн М Основы оптики. – М.: Наука, 1970, с. 443)*) Теория решетки с волновой точки зрения была дана в монографии Шверда (1792 –

1871) «Явления дифракции, выведенные аналитически из фундаментальных законов волновой теории», вышедшей в свет в 1835 г., через 9 лет после смерти фраунгофера. Таким образом, фраунгофер сделал после Ньютона новый важный шаг в развитии спектроскопии, подготовив почву для открытия Кирхгофа и Бунзена.

Скорость света. Успехи оптики первой половины XIX столетия не ограничились открытиями, описанными выше. Совершенствование экспериментальной техники позволило взяться за решение задачи, поставленной Галилеем: определить прямыми методами скорость света. Задача эта была решена в середине века почти одновременно двумя французскими физиками: Ипполитом физо (1819-1896) и Леоном Фуко (1819-1868). физо разработал технически идею Галилея. Прерывание светового потока, идущего от источника света, он осуществил автоматически – вращением зубчатого колеса.

Пучок света, пройдя через промежуток между зубцами, распространяется на некоторое расстояние (в опыте физо около 9 км), отражается от зеркала и идет обратно. Если колесо неподвижно, он попадет в тот же промежуток и направится в глаз наблюдателя. Если же колесо вращается, то в зависимости от скорости вращения отраженный пучок попадет либо на зубец, либо в следующий промежуток.

Меняя скорость вращения колеса и измеряя число его оборотов, можно определить промежуток времени между двумя прохождениями света и скорость света.

физо провел свой опыт в 1849 г., получив для скорости света значение 313000км/с.

В установке Фуко применен метод вращающегося зеркала. Особенностью этого метода была возможность сравнения скорости света в воздухе и воде. Первые же наблюдения, проведенные в 1850 г., показали, что скорость света в воде меньше, чем в воздухе. Этот результат рассматривался в то время как решающий аргумент в пользу волновой теории, так что первая половина XIX в. ознаменовалась решительной победой волновой оптики Гюйгенса– Френеля. Корпускулярная теория была сдана в архив. Но через полвека ее идеи вновь привлекли внимание физиков.

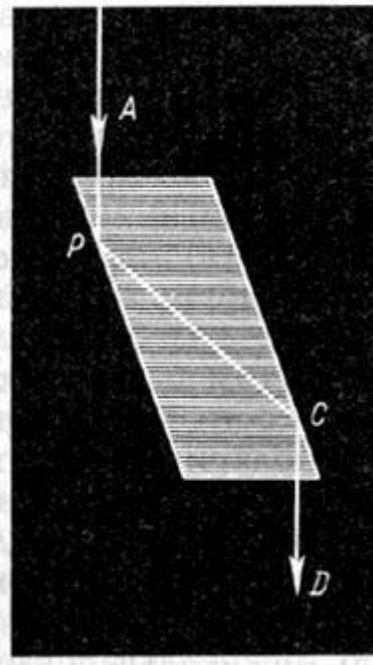


Рис. 29. Параллелепипед Френеля

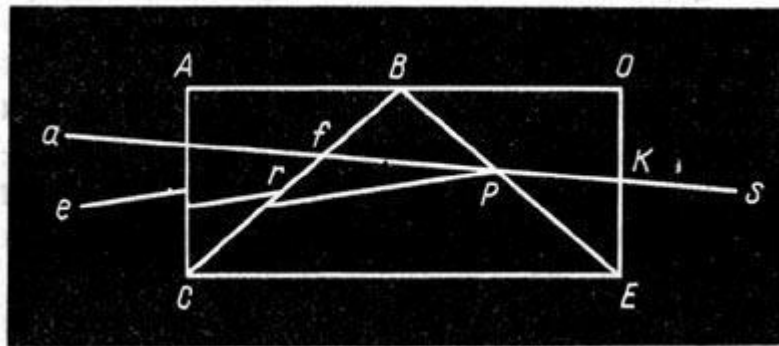


Рис. 30. Призма Френеля

Возникновение электродинамики и её развитие до Максвелла

Успехи электростатики, завершившиеся открытием количественного закона электрических взаимодействий, казалось, предопределили дальнейший путь развития науки об электричестве: накопление экспериментальных фактов в области электростатики, усовершенствование электростатических машин и электрометров, построение математической теории электростатических и магнитостатических взаимодействий. Все это, действительно, и происходило: накапливались новые факты, усовершенствовались приборы и аппараты, появились чувствительные электроскопы, в частности электроскоп Вольты с соломинками, снабженный конденсатором (1782), электроскоп Беннета с золотыми листочками (1787). Вольт установил связь между количеством электричества, емкостью и напряжением. Под термином «напряжение» он понимал «усилие, производимое каждой точкой наэлектризованного тела, чтобы избавиться от имеющегося в ней электричества и передать его другим телам, каковому усилию соответствуют, вообще говоря, проявления притяжения, отталкивания и т. д. и, в частности, степень расхождения листочков электрометра».

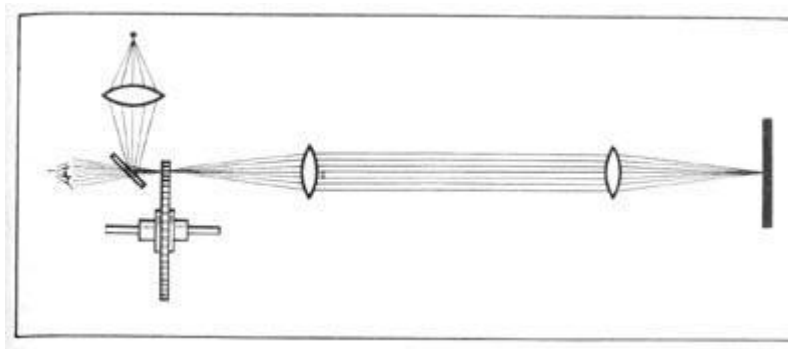


Рис. 31. Схема опыта измерения скорости света по Физо

Физики впоследствии отметили заслугу Вольты во введении в науку такого важного понятия, как «напряжение», присвоением единице электрического напряжения наименования вольт.

Вольт подготовил и создание электрической машины, основанной на новом принципе, изобретением своего электрофора в 1775 г. Этот прибор и доныне составляет принадлежность Школьных физических кабинетов. Электрофорные машины появились в середине XIX в.

Математическая теория электростатики успешно разрабатывалась Пуассоном, Грином, Гауссом и другими учеными. Однако – и этого никто не мог предвидеть – конец XVIII в. ознаменовался революционным переворотом в науке об электричестве, имевшим неисчислимы научные, технические и общекультурные последствия. Речь идет об открытии электрического тока. Это открытие произошло случайно, но оно уже было подготовлено всем ходом предыдущего развития науки об электричестве.

Физиологические действия электричества, открытие электрических свойств ската заинтересовали врачей и физиологов. Естественно было ожидать, что электричество и магнетизм окажутся полезными во врачебной практике, и тот факт, что у итальянского врача Луиджи Гальвани оказалась электрическая машина, вполне соответствовал духу времени.

Гальвани. Луиджи Гальвани родился в Болонье 9 сентября 1737 г. Он изучал сначала богословие, а затем медицину, физиологию и анатомию. В 1762 г. он был уже преподавателем медицины в Болонском университете.

В 1791 г. в «Трактате о силах электричества при мышечном движении» было описано сделанное Гальвани знаменитое открытие.

Через несколько лет войска генерала Бонапарта захватили Италию, в том числе и Болонью, и была образована Цизальпинская республика. Все государственные служащие должны были принести присягу на верность республике. Гальвани отказался это сделать, и в 1797 г. он был уволен в отставку. В уважение к его заслугам правительство республики восстановило его в должности, но было уже поздно. Гальвани, удрученный переживаниями (он потерял жену, затем брата), не мог оправиться и 4 декабря 1798 г. окончил свой жизненный путь.

Сделанное им открытие навсегда сохранило его имя в благодарной памяти человечества. Сами явления, открытые Гальвани, долгое время в учебниках и научных статьях назывались «гальванизмом». Этот термин доныне сохраняется в названии некоторых аппаратов и процессов. Свое открытие сам Гальвани описывает следующим образом:

«Я разрезал и препарировал лягушку... и, имея в виду совершенно другое, поместил ее на стол, на котором находилась электрическая машина..., при полном разобщении от кондуктора последней и на довольно большом расстоянии от него. Когда один из моих помощников острием скальпеля случайно очень легко коснулся внутренних бедренных нервов этой лягушки, то немедленно все мышцы конечностей начали так сокращаться, что казались впавшими в сильнейшие тонические судороги. Другой же из них, который помогал нам в опытах по электричеству, заметил, как ему казалось, что это удастся тогда, когда из кондуктора машины извлекается искра... Удивленный новым явлением, он тотчас же обратил

на него мое внимание, хотя я замышлял совсем другое и был поглощен своими мыслями. Тогда я зажегся невероятным усердием и страстным желанием исследовать это явление и вынести на свет то, что было в нем скрытого».

Это классическое по точности описание неоднократно воспроизводилось в исторических работах и породило многочисленные комментарии. Гальвани честно пишет, что явление впервые заметил не он, а два его помощника. Считается, что «другим из присутствующих», указавшим, что сокращение мышц наступает при проскакивании искры в машине, была его жена Лючия. Гальвани был занят своими мыслями, а в это время кто-то начал вращать ручку машины, кто-то дотронулся «легко» скальпелем до препарата, кто-то заметил, что сокращение мышц наступает при проскакивании искры. Так в цепи случайностей (все действующие лица вряд ли сговаривались между собой) родилось великое открытие. Гальвани отвлекся от своих мыслей, «сам, стал трогать острием скальпеля то один, то другой бедренный нерв, в то время как один из присутствовавших извлекал искру, феномен наступал точно таким же образом».

Как видим, явление было очень сложным, вступали в действие три компонента: электрическая машина, скальпель, препарат лапки лягушки. Что является существенным? Что произойдет, если одного из компонентов не будет? Какова роль искры, скальпеля, лягушки? На все эти вопросы и пытался получить ответ Гальвани. Он ставил многочисленные опыты, в том числе и на улице во время грозы. «И вот, замечая иногда, что препарированные лягушки, которые были подвешены на железной решетке, окружавшей балкон нашего дома, при помощи медных крючков, воткнутых в спинной мозг, впадали в обычные сокращения не только в грозу, но иногда также при спокойном и ясном небе, я решил, что эти сокращения вызываются изменениями, происходящими днем в атмосферном электричестве». Гальвани описывает далее, как он тщетно ожидал этих сокращений. «Утомленный, наконец, тщетным ожиданием, я начал прижимать медные крючки, воткнутые в спинной мозг, к железной решетке» и здесь обнаружил искомые сокращения, происходившие без всяких изменений «в состоянии атмосферы и электричества».

Гальвани перенес опыт в комнату, поместил лягушку на железную пластинку, к которой стал прижимать проведенный через спинной мозг крючок, тотчас же появились сокращения мышц. Вот это и было решающим открытием.

Гальвани понял, что перед ним открылось что-то новое, и решил тщательно исследовать явление. Он чувствовал, что в таких случаях «легко ошибиться с исследованиями и считать виденным и найденным то, что мы желаем увидеть и найти», в данном случае влияние атмосферного электричества. Он перенес препарат «в закрытую комнату, поместил на железной пластинке и стал прижимать к ней проведенный через спинной мозг крючок». При этом «появились такие же сокращения, такие же движения». Итак, нет электрической машины, нет атмосферных разрядов, а эффект наблюдается, как и прежде «Разумеется, – пишет Гальвани, – подобный результат вызвал в нас немалое удивление и начал возбуждать в нас некоторое подозрение об электричестве свойственном самому животному». Что бы проверить справедливость такого «подозрения», Гальвани продельывает серию опытов, в том числе и эффектный опыт, когда подвешенная лапка, касаясь серебряной пластинки, сокращается, поджимается вверх, затем падает, вновь сокращается и т. д. «Так что эта лапка, – пишет Гальвани, – к немалому восхищению наблюдающего за ней, начинает, кажется, соперничать с каким-то электрическим маятником».

Подозрение Гальвани превратилось в уверенность: лапка лягушки стала для него носителем «животного электричества», уподобляясь заряженной лейденской банке. «После этих открытий и наблюдений мне казалось возможным без всякого промедления заключить, что это двойственное и противоположное электричество находится в самом животном препарате». Он показал, что положительное электричество находится в нерве, отрицательное – в мышце.

Вполне естественно, что физиолог Гальвани пришел к выводу о существовании

«животного электричества». Вся обстановка опытов толкала к этому выводу. Но физик, поверивший сначала в существование «животного электричества», вскоре пришел к противоположному выводу о физической причине явления. Этим физиком был знаменитый соотечественник Гальвани Алессандро Вольта.

А. Вольта



Вольта. Алессандро Вольта родился 18 февраля 1745 г. в небольшом итальянском городе Комо, расположенном вблизи озера Комо, недалеко от Милана. В нем рано проснулся интерес к изучению электрических явлений. В 1769 г. он публикует работу о лейденской банке, через два года – об электрической машине. В 1774 г. Вольта становится преподавателем физики в школе в Комо, изобретает электрофор, затем эвдиометр и другие приборы. В 1777 г. он становится профессором физики в Павии. В 1783 г. изобретает электроскоп с конденсатором, а с 1792 г. усиленно занимается «животным электричеством».

Эти занятия привели его к изобретению первого гальванического элемента.

В 1800 г. он построил первый генератор электрического тока – вольтов столб. Это изобретение доставило ему всемирную славу. Он был избран членом Парижской и других академий, Наполеон сделал его графом и сенатором Итальянского королевства. Но в науке Вольта после своего великого открытия уже не сделал ничего значительного. В 1819 г. он оставил профессию и жил в своем родном городе Комо, где и умер 5 марта 1827 г. (в один день с Лапласом и в один год с Френелем).

Начав в 1792 г. работу над «животным электричеством», Вольта повторил и развил опыты Гальвани, полностью приняв его точку зрения. Но уже в одном из первых писем, посланном из Милана 3 апреля 1792 г., он указывает, что мышцы лягушки очень чувствительны к электричеству, они «поразительно реагируют на электричество», совершенно неуловимое даже для электроскопа Бен-нета, наиболее чувствительного из всех (сделанного из двух полосок тончайшего листового золота или серебра). Здесь начало последующего утверждения Вольты, что «препарированная лягушка представляет, если можно так выразиться, животный электрометр, несравненно более чувствительный, чем всякий другой самый чувствительный электрометр».

Вольта в результате длинного ряда опытов пришел к выводу, что причиной сокращения мышц служит не «животное электричество», а контакт разнородных металлов. «Первоначальной причиной этого электрического тока, – пишет Вольта, – каков бы он ни был, являются сами металлы вследствие того, что они различны. Именно они в собственном смысле слова являются возбудителями и двигателями, тогда как животный орган, сами нервы являются лишь пассивными». Электризация при контакте раздражает нервы

животного, приводит мышцы в движение, вызывает ощущение кислого вкуса на кончике языка, помещенного между станиолевой бумагой и серебряной ложкой, при контакте серебра и олова. Таким образом, Вольт считает причины «гальванизма» физическими, а физиологические действия – одними из проявлений этого физического процесса. Если кратко формулировать на современном языке мысль Вольты, то она сводится к следующему:

Гальвани открыл физиологическое действие электрического тока.

Естественно, что между Гальвани и Вольты разгорелась полемика. Гальвани для доказательства своей правоты пытался начисто исключить физические причины. Вольт же, наоборот, полностью исключил физиологические объекты, заменив лапку лягушки своим электрометром. 10 февраля 1794 г. он пишет:

«Что вы думаете о так называемом животном электричестве? Что касается меня, то я давно убежден, что все действие возникает первоначально вследствие прикосновения металлов к какому-либо влажному телу или к самой воде. В силу такого соприкосновения электрический флюид гонится в это влажное тело или в воду от самих металлов, от одного больше, от другого меньше (больше всего от цинка, меньше всего от серебра). При установлении непрерывного сообщения между соответствующими проводниками этот флюид совершает постоянный круговорот».

Таково первое описание замкнутой цепи электрического тока. Если цепь разорвать и в место разрыва вставить в качестве соединительного звена жизнеспособный нерв лягушки, то «управляемые такими нервами мышцы... начинают сокращаться, как только замыкается цепь проводников и появляется электрический ток». Как видим, Вольт уже пользуется таким термином, как «замкнутая цепь электрического тока». Он показывает, что присутствие тока в замкнутой цепи можно обнаружить и вкусовыми ощущениями, если ввести в цепь кончик языка. «И эти ощущения и движения тем сильнее, чем дальше отстоят друг от друга примененные два металла в том ряду, в каком они поставлены здесь: цинк, оловянная фольга, обыкновенное олово в пластинках, свинец, железо, латунь и различного качества бронза, медь, платина, золото, серебро, ртуть, графит». Таков этот знаменитый «ряд Вольты» в его первом наброске.

Вольт разделил проводники на два класса. К первому он отнес металлы, ко второму – жидкие проводники. Если составить замкнутую цепь из разнородных металлов, то тока не будет – это следствие закона Вольты для контактных напряжений. Если же «проводник второго класса находится в середине и соприкасается с двумя проводниками первого класса из двух различных металлов, то вследствие этого возникает электрический ток того или иного направления».

Вполне естественно, что именно Вольте принадлежит честь создания первого генератора электрического тока, так называемого вольтова столба (сам Вольт называл его «электрический орган»), оказавшего огромное влияние не только на развитие науки об электричестве, но и на всю историю человеческой цивилизации. Вольтов столб возвестил о наступлении новой эпохи – эпохи электричества.

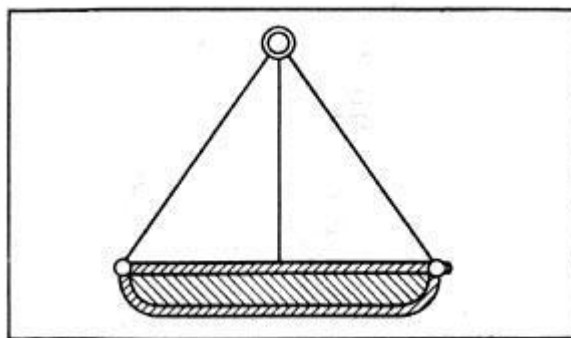


Рис. 32. Электрофор Вольты

Триумф вольтова столба обеспечил безоговорочную победу Вольты над Гальвани.

История поступила мудро, определив победителя в этом споре, в котором обе стороны были правы, каждый с своей точки зрения. «Животное электричество» действительно существует, и электрофизиология, отцом которой был Гальвани, сейчас занимает важное место в науке и практике. Но во времена Гальвани электрофизиологические явления еще не созрели для научного анализа, и то, что Вольта повернул открытие Гальвани на новый путь, было очень важно для молодой науки об электричестве. Исключив жизнь—это сложнейшее явление природы—из науки об электричестве, придав физиологическим действиям лишь пассивную роль реагента, Вольта обеспечил быстрое и плодотворное развитие этой науки. В этом состоит его бессмертная заслуга в истории науки и человечества.

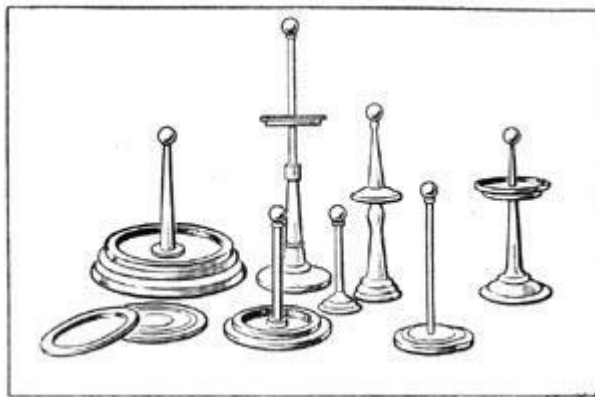


Рис. 33. Приборы Вольта

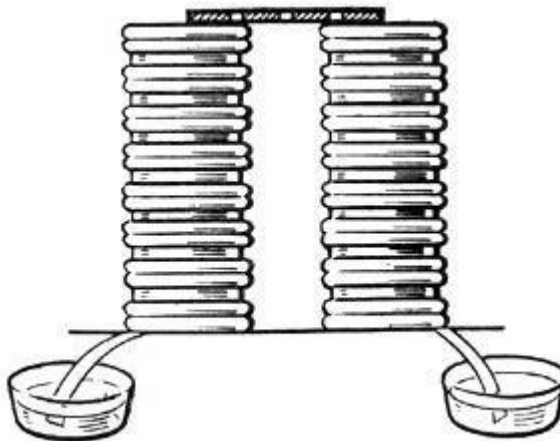


Рис. 34. Вольтов столб

В. В. Петров. Сразу после получения сообщений о новом приборе начались опыты по его изготовлению и изучению действий электрического тока. Так английские химики Вильям Никольсон (1753–1815) и Карлейль (1768–1840), построив вольтов столб из 17 элементов, осуществили электролиз воды. Так были открыты химические действия тока, особенно успешно исследовавшиеся знаменитым английским химиком Гэмфри Дэви (1778– 1829).

Дэви открыл путем электролиза щелочные металлы калий и натрий (1807).

Одной из первых монографий, посвященных описанию нового источника тока и опытов с ним, была монография русского физика Василия Владимировича Петрова «Известие о гальвани-вольтовских опытах», вышедшая в Петербурге в 1803 г.

Василий Владимирович Петров родился в г. Обояни Белгородской губернии 8 июля 1761 г. в семье священника. Петров учился сначала в Харькове, а затем, в 1786–1788 гг., в

Петербургской учительской семинарии. По окончании семинарии Петров работал преподавателем Горного училища при Колывано-Воскресенских заводах на Алтае. Здесь когда-то трудился и русский механик И.И.Ползунов, представивший в 1763 г. начальнику Колывано-Воскресенских заводов докладную записку о своей паровой машине.

Петров проработал на Алтае до 1791 г. В этом году он возвратился в Петербург, где преподавал физику в Инженерном училище и математику в Главном врачебном училище. В 1795 г. он стал экстраординарным профессором физики врачебного училища, которое в 1798 г. было преобразовано в Медико-хирургическую академию.

Здесь Петров создал богатый физический кабинет, провел многочисленные опыты, на основе которых написал монографии: «Собрание физико-химических новых опытов и наблюдений» (1801), «Известие о гальвани-вольтовых опытах» (1803), «Новые электрические опыты» (1804). В 1802 г. Петров был избран членом-корреспондентом Петербургской Академии наук, в 1807 г. – адъюнктом по физике, в 1809 г. – экстраординарным академиком, в 1815 г. – ординарным академиком по кафедре физики.

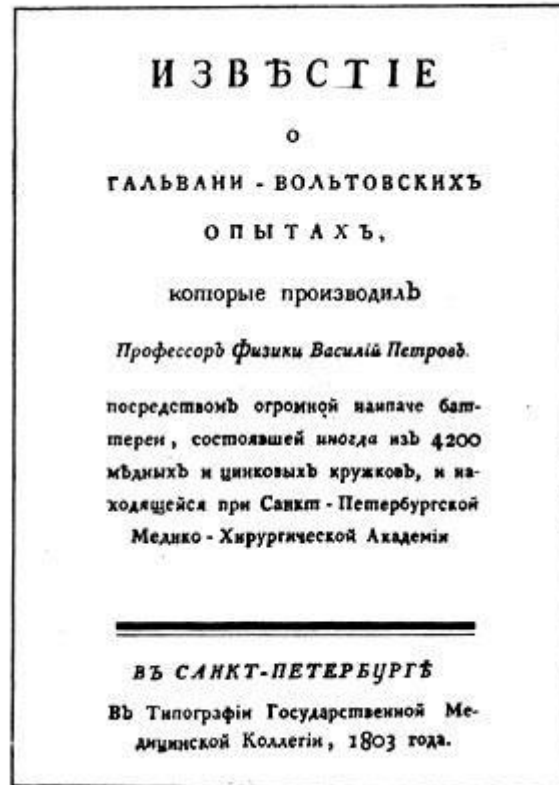


Рис. 35. Титульный лист книги В.В. Петрова

Петров настойчиво боролся за создание физического кабинета при академии, но все его начинания встречали яростное сопротивление руководства. В 1827 г. Петрова отстранили от руководства кабинетом. В.В.Петров умер в Петербурге 22 июля 1834 г.

Труд Петрова, посвященный изучению гальвани-вольтовых явлений, носит следующее полное заглавие: «Известие о гальвани-вольтовых опытах, которые производил профессор физики Василий Петров посредством огромной наипаче баттерей, состоящей иногда из 4200 медных и цинковых кружков и находящейся при Санкт-Петербургской Медико-хирургической академии».

Так, уже из заглавия видно, что Петров построил самую мощную по тому времени батарею, составленную из 2100 гальванических элементов. Он заменил термин «вольтов столб» термином «гальвани-вольтовая батарея» (Петров пишет «баттерей») в честь Гальвани и Вольты. Он поставил своей главной задачей «описать по-русски и расположить в надлежащем порядке деланные самим мною важнейшие и любопытнейшие опыты посредством гальвани-вольтовой баттерей». Но начинает он с описания устройства самой баттерей и практических указаний по ее изготовлению и уходу за ней.

Медные и цинковые кружки, составляющие баттерей, имели диаметр «около одного с половиной дюйма» (около 3,8 см). Между металлическими кружками прокладывались не суконные, как у Вольты, а картонные кружки, пропитанные раствором нашатыря. Каждый

элемент состоял из трех кружков: медного, картонного, цинкового, которые складывались в столбик из десяти и более элементов. В отличие от вертикального расположения вольтова столба Петров предлагает располагать элементы горизонтально, так, чтобы кружки стояли ребром вертикально в сухих узких деревянных ящиках.

Петров указывает и способы изоляции элементов от дерева посредством сургуча, предлагает помещать тела, над которыми производятся опыты, на скамеечку со стеклянными ножками. Его «огромная наипаче батарея» состояла из четырех рядов, каждый 10 футов длиной (свыше 3 м), соединяемых последовательно с помощью медных скобок. Если эти ряды вытянуть в один ряд, то он имел бы длину в сорок футов, «или в пять наших саженей и пять футов», т. е. свыше 12 м. Петров замечает, что такую батарею «с довольным основанием можно называть огромною».

Крайний медный кружок первого ряда и последний цинковый кружок четвертого ряда Петров называет «медным и цинковым полюсами батареи». Ток от батареи получается при соединении полюсов проводниками, которые должны быть хорошо изолированы, например продеты через стеклянные трубки. Описав устройство батареи, Петров описывает далее способ ухода за нею, средства очистки кружков от окислов. Все эти советы, очень подробные, вплоть до указания цен, показывают, что Петров предназначал свою книгу для активного читателя, который мог бы сам воспроизвести описываемые эксперименты. Книга

Петрова не только научная монография, но и практическое руководство по технике эксперимента. Петров выступает в ней не только как ученый, но и как учитель, стремящийся ввести своих читателей в лабораторию научного творчества в самой актуальной области науки

науки

Глава III (главы своей книги Петров называет «статьями») посвящена электролизу. Он рассказывает об электролизе воды, детально описывает экспериментальную установку, подчеркивая необходимость употреблять однородные, чистые подводящие провода, указывая способы зачистки концов, крепления трубки, в которую наливаются вода и другие электролиты. Из этих подробных указаний видно, что Петров демонстрировал электролиз «в присутствии весьма многих зрителей».

Он изучал влияние температуры на электролиз, проводя опыты в январе ' 1803 г. на улице.

Петров подробно описывал действие тока на человека и животных. Он проводил опыты по гальванизации больных, закладывая основы электротерапии.

В главе VII Петров изложил свой знаменитый опыт с электрической дугой: «Если на стеклянную плитку или на скамеечку со стеклянными ножками будут положены два или три древесных угля, способные для произведения светоносных явлений посредством гальвани-вольтовской жидкости, и если потом металлическими изолированными направителями (directores), сообщенными с обоими полюсами огромной батареи, приближать оные один к другому на расстояние от одной до трех линий, то является между ними весьма яркий белого цвета свет или пламя, от которого оные угли скорее или медленнее загораются и от которого темный покой довольно ясно освещен быть может».

Так была открыта и исследована электрическая дуга. Петров заменил один из углей металлическим электродом, наблюдал плавление металлов электрической дугой, а также их сгорание в пламени. Таким было начало будущей электрометаллургии. Вообще труд Петрова можно считать началом будущей электротехники.

Из других результатов научной деятельности Петрова упомянем о его исследованиях люминесценции, а также о первых в мире опытах, доказавших возможность электризации металлов трением. Со времен Гильберта металлы считались «не электриками», неспособными электризоваться, как «электрики». Петров показал, что изолированный металл может быть наэлектризован «стеганием» его различными телами. Это было открытие принципиального значения.

Труды Петрова оставались неизвестными за рубежом, его открытия переоткрывались, как это было, например, с электрической дугой. У себя на родине они были также забыты до

начала нашего века. В учебниках физики электрическая дуга именовалась вольтовой дугой, что давало повод думать о ее открытии Вольтой. В вышедшей еще при жизни Петрова «Опытной, наблюдательной и умозрительной физике», написанной коллегой Петрова, профессором физиологии и анатомии Медико-хирургической академии Д. Веллан-ским (1774–1847), электрическая дуга и «огромная наипаче» батарея Петрова не упоминается, хотя Велланский рассказывает о батарее Шиллерна, о сухих батареях Делюка, Зингера и Замбони, об электрических «светоносных» явлениях, об электризации проводников «стеганием», т. е. о многих вещах, о которых писал Петров. Так еще при жизни Петрова, в стенах его родной академии, началось забвение его трудов.

Электромагнетизм

Книга Велланского вышла в 1831 г. В ней уже не только упоминались, но и подробно описывались открытие Эрстеда, опыты и теория Ампера. Внимание, проявленное Велланским к новому открытию, не случайно. Его истоки кроются в философских воззрениях как самого Велланского, так и автора открытия. Конец XVIII и начало XIX в. ознаменовались решительным поворотом философской мысли в сторону от мировоззрения французских материалистов и опытного естествознания. Этот поворот возглавили и осуществили представители немецкой классической философии. С этого момента философия и естествознание идут разными путями. «Одна, – говорит Герцен, – прорицала тайны с какой-то недостижимой высоты, другое смиренно покорялось опыту и не шло далее; друг к другу они питали ненависть; они выросли в взаимном недоверии; много предрассудков укоренилось с той и с другой стороны; столько горьких слов пало, что при всем желании они не могут примириться до сих пор».

Герцен писал это в 1844–1845 гг. Примерно через четверть века об этом же расхождении между натуралистами (естествоиспытателями) и философами скажет Гельмгольц, выступая с докладом на родине Канта: «...всем известно, Л что натуралисты и философы в настоящее время не могут быть названы добрыми друзьями, по крайней мере в своих научных работах. Всем известно, что между ними уже давно ведется ожесточенный спор...». Гельмгольц отмечает, что принципиальный разлад между философией и естествознанием «еще не имел места во времена Канта», который «стоял на вполне одинаковой почве с натуралистами». Созданная Кантом теория происхождения солнечной системы «дает нам право причислить философа Канта к естествоиспытателям». Гельмгольц считает, что и фихте «не находился... ни в каком принципиальном противоречии с натуралистами». Он указывает, что «спор возгорелся, когда после смерти фихте Шеллинг стал господствовать над наукой в южной, а Гегель в северной Германии». «Среди образованных людей Германии того времени, – говорит Гельмгольц, – интерес к философским наукам превосходил интерес к естественным наукам, вследствие чего последние казались побежденными».

Х. К. Эрстед



Этот интерес передался и в соседние страны. Велланский и Павлов в России, Эрстед в Дании находились под сильным влиянием философии Шеллинга. Учение о целостности мира, о его развитии, о борьбе полярных сил, о всеобщей связи явлений чрезвычайно импонировало этим естествоиспытателям. Велланский считает теоретические основы физики неудовлетворительными. «Все содержание оной (т. е. физики) заключается в исчислении и измерении наружных форм физических предметов; касательно же внутренней сущности какой-либо вещи физики признают абсолютную невозможность к достижению оной».

Открытие электромагнетизма шеллингианцы рассматривали как успех своей системы. «До открытия гальванизма не было известно взаимное соотношение между химическими, электрическими и магнитными явлениями, которые физики считали раздельными и одна от другой независимыми». Это совершенно правильное утверждение Велланского вскрывает то положительное начало, которое было введено немецкой классической философией: учение о всеобщей связи, диалектика природы. Велланский правильно подчеркивает, что физика могла рассматривать химические, магнитные и электрические явления изолированно лишь до открытия гальванизма. Открытие гальванизма независимо от какой-либо философии должно было рано или поздно привести к открытию электромагнетизма, и не случайно приоритет Эрстеда оспаривался. Еще в 1876 г. Эндрюс (1813–1885) в своей президентской речи на собрании Британской Ассоциации содействия прогрессу наук в Глазго должен был вернуться к вопросу о приоритете Эрстеда. Этот вопрос решен в пользу Эрстеда, и современный историк науки полностью согласен со словами Велланского: «Электромагнетизм открыт в Копенгагене профессором Эрстедом, который открытие свое возвестил 1820 года».



Ханс Кристиан Эрстед родился 14 августа 1777 г. в семье датского аптекаря. Учился Эрстед в Копенгагенском университете, где в 20 лет получил диплом фармацевта, а в 22 года степень доктора философии. В 1806 г. он становится профессором Копенгагенского университета. Увлечшись философией Шеллинга, он много думал о связи между теплотой, светом, электричеством и магнетизмом. Плодом этих размышлений явился изданный в 1813 г. в Париже трактат «Исследования о тождестве электрических и химических сил». В 1820 г. он сделал свое знаменитое открытие, описанное им в брошюре «Опыты, относящиеся к действию электрического конфликта на магнитную стрелку». Брошюра была издана на латинском языке в Копенгагене и датирована 21 июля 1820 г. Это открытие обессмертило имя ее автора в истории физики. Умер Эрстед 9 марта 1851 г.

Увлечение философией Шеллинга сказалось уже в самом названии брошюры Эрстеда. Он называет процесс, происходящий в проволоке, соединяющей полюсы гальванической батареи, не током, а «конфликтом». Результатом этого «конфликта» является разогревание проводника, причем Эрстед считал, что нагревание проволоки необходимо для получения эффекта. Опыты над действием тока на магнитную стрелку привели Эрстеда к важному выводу, что «электрический конфликт, по-видимому, не ограничен проводящей проволокой, но имеет довольно обширную сферу активности вокруг этой проволоки». Отбрасывая философскую терминологию, можно констатировать, что Эрстед обнаружил вокруг проволоки с током магнитное поле, действующее на ток.

Далее он пишет: «Кроме того, из сделанных наблюдений можно заключить, что этот конфликт образует вихрь вокруг проволоки». Другими словами, магнитные силовые линии окружают проводник с током, или электрический ток является вихрем магнитного поля. Таково содержание первого основного закона электродинамики, и в этом суть открытия Эрстеда.

Сегодня любой школьник без труда воспроизведет опыт Эрстеда, продемонстрирует «вихрь электрического конфликта», насыпав на картон, через центр которого проходит проволока с током, железные опилки.

Но обнаружить магнитные действия тока было нелегко. Их пытался обнаружить Петров, соединяя полюсы своей батареи железными и стальными пластинками. Он не обнаружил никакого намагничивания пластинок после нескольких часов пропускания через них тока. Имеются сведения и о других наблюдениях, однако с полной достоверностью известно, что магнитные действия тока наблюдал и описал Эрстед. Это открытие, как справедливо отмечал Велланский, привлекло внимание физиков Европы. «Ученый датский физик, профессор, – писал Ампер, – своим великим открытием проложил физикам новый путь

исследований. Эти исследования не остались бесплодными; они привлекли к открытию множества фактов, достойных внимания всех, кто интересуется прогрессом».

Открытие Эрстеда вызвало широкий резонанс, как об этом писал Велланский. Вскоре, после того как де ла Рив в Женеве повторил опыты Эрстеда, хлынул поток опытов и сообщений. В сентябре 1820 г. Араго показал, что проволока с током притягивает железные опилки. В том же сентябре Швей-гер применил эффект Эрстеда в качестве указателя тока (мультипликатор). В 1821 г. Поггендорф (1796-1877) придал ему удобную форму, и в этом виде его и поныне можно видеть в школьных физических кабинетах.

Закон действия тока на магнитный полюс был установлен экспериментально Био и Саваром. Доклад об этом законе Био и Савар сделали 30 октября 1820 г. Лаплас облек закон Био– Савара в математическую форму элементарного взаимодействия между элементом тока и намагниченной точкой. В этой форме закон Био – Савара фигурирует в учебниках физики.

Ампер. Наибольший вклад в изучение электромагнетизма внес французский физик Ампер, назвавший новую область физики «электродинамикой», и это название прочно вошло в язык физики.

А. Ампер



Андре Мари Ампер родился 22 января 1775 г. в семье лионского коммерсанта. Под руководством отца Ампер получил хорошее и разностороннее образование. Он изучал естественные науки, математику, греческий, латинский и итальянский языки. Ампер изучил все тома знаменитой «Энциклопедии» Дидро и Даламбера, труды Эйлера, Бернулли, Лагранжа.

Амперу было восемнадцать лет, когда семью постигло большое горе. В 1793 г. Конвент посылает в Лион, осмелившийся бросить вызов Конвенту, карательную экспедицию, которой предписывает «немедленно наказать лионскую контрреволюцию силой оружия». Конвент приказывает уничтожить Лион и на его развалинах возвести колонну с надписью: «Лион боролся против свободы – Лиона больше нет». В числе жертв этой экспедиции оказался и отец Ампера Жан Жак. Он был арестован 9 октября и 24 ноября 1793 г. казнен.

Для семьи наступили трудные времена. Ампер избирает педагогическое поприще. Сначала он работает домашним учителем, а в 1802 г. становится преподавателем физики и химии в центральной школе г. Бурге. В 1803 г. Ампера назначают преподавателем математики в Лионский лицей. В следующем, 1804 г. он становится репетитором в Политехнической школе в Париже, а с 1808 г. – ее профессором.

В 1814 г. его избирают членом Академии наук. С 1820 г. Ампер усиленно занимается электродинамикой, и в 1826 г. выходит его основной труд по электродинамике «Теория

электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта». Позже Ампер занимается многими научными проблемами, в том числе и проблемой классификации наук.

В результате этих исследований появилось его сочинение «Опыт философии наук, или Аналитическое изложение естественной классификации всех человеческих знаний», первый том которого вышел в 1834 г., второй, незаконченный том вышел посмертно в 1843 г.

Жизнь Ампера была тяжелой. Его преследовали несчастья: гибель отца, потеря первой жены, неудачный второй брак, смерть матери, которую он горячо любил, и многое другое.

События «ста дней» и второй реставрации также отразились на нем. Ко всему этому прибавилось слабое здоровье. В одну из служебных поездок он скончался в Марселе 10 июня 1836 г.

Вершиной научного творчества Ампера является создание электродинамики. Начиная с первого сообщения в Парижской Академии наук 18 сентября 1820 г., последовавшего через неделю после сообщения Араго об открытии Эрстеда, идут один за другим сообщения Ампера: 25 сентября; 2, 9, 16, 30 октября; 6, 13 ноября; 4, 11 и 26 декабря 1820 г. В 15-м томе «Анналов химии и физики» был опубликован «Труд, представленный Королевской Академии наук 2 октября 1820 г. и содержащий резюме докладов, прочитанных в академии 18 и 25 сентября 1820 г. относительно действий электрических токов». Этот труд подытоживал напряженную работу Ампера по исследованию нового явления, выполненную в течение короткого двухнедельного промежутка времени.

Ампер различает два основных электрических понятия: электрическое напряжение и электрический ток. Под электрическим током Ампер понимает «состояние электричества в цепи проводящих и электродвижущих тел»; под его направлением – направление положительного электричества. Внутри вольтова столба это будет «направление от конца, на котором при разложении воды выделяется водород, к концу, на котором выделяется кислород». «...Направление электрического тока в проводнике, соединяющем концы столба, будет обозначать направление от конца, где выделяется кислород, к концу, где выделяется водород». Следовательно, Ампер вводит впервые такие фундаментальные понятия, как «электрический ток», «электрическая цепь», устанавливает направление тока в замкнутой цепи. Наименование единицы тока ампер, принятое в физике, вполне оправдано заслугами Ампера. Он же вводит термин «гальванометр» для прибора, действие которого основано на отклонении магнитной стрелки, и указывает, что «им следует пользоваться при всех опытах с электрическими токами, как принято пользоваться электрометром при электрических машинах, чтобы видеть в каждый момент, существует ли ток и какова его энергия».

Ампер впервые установил наличие механических взаимодействий токов, которые могут быть в зависимости от направления как притягательными, так и отталкивательными. Он подчеркивает, что «эти притяжения и отталкивания... существенно отличаются от тех, которые вызываются электричеством в состоянии покоя».

Исследуя экспериментально электродинамические взаимодействия, Ампер приходит к выводу, что путем комбинации проводников и магнитных стрелок можно «устроить своего рода телеграф с помощью одного вольтова столба, расположенного вдали от стрелок». Так, идея электромагнитного телеграфа возникла в первый же год открытия электромагнетизма.

Она разрабатывалась рядом изобретателей и ученых. В 1829 г. русский дипломат П. Л. Шиллинг (1786–1837) сконструировал телеграфный аппарат, дающий возможность передавать русские буквы и цифры с помощью шести мультипликаторов. Аппарат Шиллинга был установлен в Зимнем дворце.

В 1833 г. Гаусс и Вебер построили телеграфную линию в Геттингене, соединяющую астрономическую и физическую лаборатории. Существовали и другие системы, в частности система русского физика Б. С. Якоби (1801–1874). Однако широкое распространение электромагнитный телеграф получил после того, как американский изобретатель Самуил Морзе (1791–1872) создал удобную конструкцию аппарата, разработал схему соединения отправительной и приемной станции и изобрел специальную азбуку с двумя знаками (точка – тире). Первый аппарат Морзе был построен в 1835 г., а в 1844 г. заработала телеграфная

линия Вашингтон – Балтимор.

Возвращаемся к исследованиям Ампера. Очень скоро он пришел к мысли об эквивалентности магнитного листка круговому току и разработал представление о магните «как о совокупности электрических токов, расположенных в плоскостях, перпендикулярных к линии, соединяющей полюсы магнита». Отсюда он пришел к выводу, что спираль, обтекаемая током (соленоид), будет эквивалентна магниту. Это привело Ампера к мысли об отсутствии магнитных агентов («магнитных жидкостей») в природе и о возможности свести все явления магнетизма к электродинамическим взаимодействиям. Амперова молекулярная теория магнетизма получила физическую опору в электронной физике уже в XX в.

Обобщающим трудом Ампера была «Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта», изданная в 1826 г. с подзаголовком «Произведение, в котором собраны труды г. Ампера, доложенные им Королевской Академии наук в заседаниях от 4 и 26 декабря 1820 г., 10 июня 1822 г., 22 декабря 1823 г., 12 сентября и 28 ноября 1825 г.».

Он поставил перед собой задачу, основываясь на опыте, вывести формулу взаимодействия элементов тока. Задача была нелегкой. Опыт давал только интегральное взаимодействие. Ампер варьировал опыты с взаимодействием токов, пытаясь нащупать правильную формулу и, интегрируя ее для различных случаев конечных контуров тока, сравнить результат с опытом, формула Ампера открывает длинный ряд элементарных законов электродинамики.

Важно, что элементарные взаимодействия двух элементов тока не удовлетворяют третьему закону Ньютона, это новый тип взаимодействия, отличный от обычных центральных сил. Впрочем, то обстоятельство, что физика открыла новый тип сил, отличный от гравитационных, электростатических и магнитных сил, было ясно уже из опыта Эрстеда. Электродинамические силы, как правильно заметил Ампер, новые силы, отличные от сил, известных в электростатике. Однако сам Ампер искал свой закон, опираясь на третий закон механики. Он полемизировал с Био, установившим, что силы, действующие со стороны элемента тока на магнитный полюс, образуют пару с силой, действующей со стороны полюса на элемент тока. Так началась проблема закона сохранения количества движения в электродинамике. Ампер еще не подозревал о существовании поля, о запаздывании электромагнитных действий. Он стоял на позициях дальнего действия, что для постоянных токов было допустимо. Но ему и его современникам уже пришлось столкнуться с новыми фактами, трудно объяснимыми при помощи ньютоновских представлений.

Б. С. Якоб



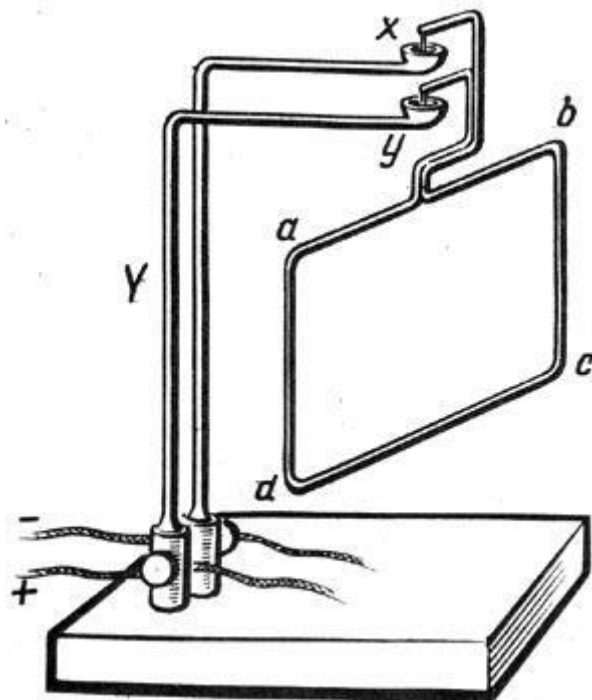


Рис. 36. Станок Ампера

Эрстед, а затем и Фарадей ясно увидели вихревой характер магнитного поля. В 1821 г. Фарадей доказал экспериментально, что отдельный магнитный полюс, помещенный вблизи проводника с током, приходит в непрерывное вращение. Ему пришлось проявить немало изобретательности, чтобы придумать такое расположение проводников и магнита, чтобы действию тока подвергался только один полюс. Магнит в опыте Фарадея вращался безостановочно, пока цепь была замкнута. Это была первая модель электродвигателя.

Как всегда бывает в науке, когда открывается новое поле исследования, появляется большое количество экспериментаторов и изобретателей, возникают бесчисленные споры о приоритете того или иного открытия. Имена этих экспериментаторов и изобретателей ныне забыты или полузабыты, Фарадею пришлось выдержать длительный спор о приоритете в открытии электромагнитных вращений. Сначала его обвинял учитель Дэви в заимствовании идеи у Волластона, спустя много лет после смерти Дэви обвинения повторил его брат. Такие споры, отравляющие жизнь многим выдающимся ученым, неизбежны, когда «идеи носятся в воздухе». Время в конце концов выносит окончательный приговор.

Из многочисленных открытий и изобретений в области электричества, сделанных в 20-е годы XIX в., следует упомянуть об открытии в 1821 г. термоэлектричества. Оно принадлежит прибалтийскому физика Томасу Зеебеку (1770–1831). Это открытие стало возможным благодаря открытию Эрстеда и некоторое время даже именовалось термомагнетизмом. В свою очередь, открытие Зеебека и изобретение мультипликатора дали возможность немецкому учителю Георгу Ому (1787–1854) открыть количественный закон цепи электрического тока, носящий ныне его имя.

Опыты и теоретические рассуждения Ома, который находился под сильным влиянием вышедшего в 1822 г. сочинения Фурье (1768–1830) «Аналитическая теория тепла», были описаны им в основном труде «Гальваническая цепь, разработанная математически» (1827).

Следует отметить, что этот закон, без которого мы сейчас не представляем себе учебника электричества, не сразу был принят физиками и стал входить в науку только в конце 30-х – начале 40-х годов XIX в. Его признание шло параллельно с успехами электротехники. Одним из первых принял и применил закон Ома русский академик Э.Х. Ленц, который рассматривал и вопросы распределения тока в разветвленных проводниках, явившись предшественником Кирхгофа. Ленц занимался также изучением электромагнитов, впервые на основе опытов

Араго и теории Ампера созданных Вильямом Стерд-женом (1783-1850) в 1825 г. Электромагниты с большой подъемной силой были построены американским физиком Джозефом Генри (1799–1878), независимо от фарадея открывшим электромагнитную индукцию. Однако его публикация об этом открытии запоздала, и слава великого открытия принадлежит Михаилу фарадею.

Г. Ом



Фарадей. Михаил (английское произношение–Майкл) фарадей родился 22 сентября 1791 г. в семье лондонского кузнеца. Недостаточность средств не позволила будущему великому ученому получить хорошее образование. В начальной школе он научился читать, писать, постиг начала арифметики, а затем поступил в учение к переплетчику. Здесь он восполнил недостатки образования чтением. Особенно его увлекло электричество и химия, и он сам начал проделывать опыты, описанные в книгах.

Промышленная революция пробудила в широких кругах англичан интерес к естествознанию. В Лондоне большим успехом пользовались популярные лекции для широкой публики. Организованный в 1800 г. Лондонский Королевский институт регулярно проводил вечерние публичные лекции. Лекции во времена фарадея читал знаменитый химик Дэви. Эти лекции увлекли фарадея. Он тщательно записывал их и аккуратно переплетенные записи направлял Дэви. Когда Дэви понадобился помощник, он вспомнил о фарадее и привлек его в институт в качестве ассистента. Гениальный самоучка вступил на путь, приведший его к бессмертию.

Первые научные работы фарадея относятся к химии. Они обратили на себя внимание европейских химиков и сделали его имя широко известным. Д.И. Менделеев в своих знаменитых «Основах химии» неоднократно упоминает имя фарадея. Он цитирует его характеристику пламени, воспроизводит описание его опыта по анализу пламени свечи, неоднократно упоминает его результаты в области сжижения газов и его закон электролиза. Менделеев сочувственно упоминает о фарадеевском понимании электрического тока как переносчика химического движения. В истории химии фарадей занимает видное место.



Всемирную славу фарадею принесли его электрические исследования. Открытие Эрстеда взволновало ученых Королевского института. Дэви и Вол-ластон не только повторили его опыты, но и придумали новые демонстрации взаимодействия токов и магнитов, фарадей, заинтересовавшись новым открытием, тщательно изучил литературу по этому вопросу и выступил в 1821–1822 гг. со статьей «Опыт истории электромагнетизма».

Статья Эрстеда подсказывала мысль о наличии вращения вокруг тока. Идею электромагнитного вращения высказал Волластон.

Фарадей, придя к ней самостоятельно, стал думать о том, как экспериментально обнаружить его. Ему удалось обеспечить действие тока лишь на один из полюсов магнита и с помощью ртутного контакта осуществить непрерывное вращение магнита вокруг проводника с током.

Этот первый электродвигатель заработал у фарадея в декабре 1821 г. Тогда же фарадей записал в своем дневнике задачу: превратить магнетизм в электричество. Решение этой задачи потребовало около десяти лет. С ноября 1831 г. Фарадей начал систематическую публикацию своих исследований по электричеству, составивших трехтомный труд под заглавием «Экспериментальные исследования по электричеству».

Дадим краткий обзор содержания этой знаменитой книги. В первой серии, датированной 24 ноября 1831 г. и содержащей разделы: об индукции электрических токов, об образовании электричества и магнетизма, о новом электрическом состоянии материи, объяснение магнитных явлений Араго, – описаны основные опыты фарадея по электромагнитной индукции. В первом опыте, с помощью которого и было открыто новое явление, фарадей использовал деревянный цилиндр, на который были намотаны две изолированные друг от друга обмотки. Одна из них была соединена с гальванической батареей, другая – с гальванометром. При замыкании и размыкании тока в первой обмотке стрелка гальванометра во второй обмотке отклонялась при замыкании тока в одну сторону, при размыкании в противоположную. Действие одной цепи электрического тока на другую фарадей назвал вольта-электрической индукцией. Вольта-электрическая индукция усиливалась, если внутрь обмотки помещали железо, фарадей устроил индукционный прибор в виде железного кольца (тора), на которое были намотаны две изолированные обмотки – первичная с источником тока и вторичная с гальванометром. Кольцо фарадея было первой моделью трансформатора.

Затем Фарадей получил индукционные действия с помощью обыкновенных магнитов. Явления эти фарадей назвал магнитоэлектрической индукцией. фарадей считал, что проводник, подвергающийся индукционному воздействию со стороны другого тока или магнита, находится в особом состоянии, которое он назвал электротоническим. Это название

не удержалось в науке, но именно отсюда началось исследование фарадеем роли среды в электромагнитных взаимодействиях.

Существенно, что Фарадей, отмечая переменный характер процесса индукции, говорит об «индуцированной волне электричества». Несколько месяцев позже, 12 марта 1832 г., он фиксировал результат своих наблюдений над временным характером индукционных явлений в специальном письме, озаглавленном «Новые воззрения, подлежащие в настоящее время хранению в запечатанном конверте в архивах Королевского общества». В этом замечательном письме, обнаруженном в архивах лишь спустя 106 лет, т. е. в 1938 г., содержится совершенно определенный вывод, «что на распространение магнитного взаимодействия требуется время», что действие одного магнита на другой «распространяется от магнитных тел постепенно и для своего распространения требует определенного времени». фарадей указывает, «что электрическая индукция распространяется точно таким же образом», и считает «возможным применить теорию колебаний к распространению электрической индукции». Процесс распространения индукции похож «на колебания взволнованной водной поверхности или же на звуковые колебания частиц воздуха». фарадей пишет, что он хотел бы проверить свои идеи экспериментально, но ввиду занятости решил передать свое письмо на хранение, чтобы закрепить за собой открытие фиксированной датой. Он указывает, что «в настоящее время, насколько мне известно, никто из ученых, кроме меня, не имеет подобных взглядов».

Поразительна интуиция Фарадея, позволившая ему вскоре после открытия электромагнитной индукции прийти к идее электромагнитных волн. Он совершенно прав, считая эту идею чрезвычайно важной и утверждая свой приоритет в специальном письме, датированном точной датой.

Г. Дэви



Вполне понятны заботы Фарадея о приоритете. В конце раздела «Об электротоническом состоянии» он упоминает о претензиях на приоритет в открытии индукции со стороны Френеля и Ампера. К открытию независимо от фарадея пришел Генри. После публикации фарадея многие физики осознали, что они наблюдали в своих экспериментах по магнитному действию токов аналогичные явления. Открытие «носилось в воздухе». В истории науки действует закон созревания открытий: наступает время, когда открытие должно быть сделано, оно созрело. Так было с законом тяготения, с открытием математического анализа, так было и с законом индукции. В последнем разделе первой серии фарадей объясняет явление, открытое Араго. Магнитная стрелка, помещенная под плоскостью медного диска, приходит во вращение, когда диск вращается. Точно так же при

вращении магнита приходит во вращение подвешенный над ним медный диск, фарадей объяснил это открытое Араго загадочное явление действием электромагнитной индукции и указал, что эффект Араго дает возможность получить «новый источник электричества». Между полюсами магнита вращался медный диск. Скользящие контакты у периферии и центра диска отводили генерируемый при вращении диска ток к цепи, содержащей гальванометр. «Этим было показано, – пишет Фарадей, – что можно создать постоянный ток электричества при помощи обыкновенных магнитов», фарадей в этом опыте сконструировал униполярную динамо-машину. Варьируя опыты с получением индукционного тока вращением проводников или магнитов, фарадей приходит к важному выводу: «Все эти результаты, – пишет он, – доказывают, что способность индуцировать токи проявляется по окружности вокруг магнитной равнодействующей или силовой оси точно так, как расположенный по окружности магнетизм возникает вокруг электрического тока и им обнаруживается». Установленную фарадеем связь Максвелл позднее выразил математически.

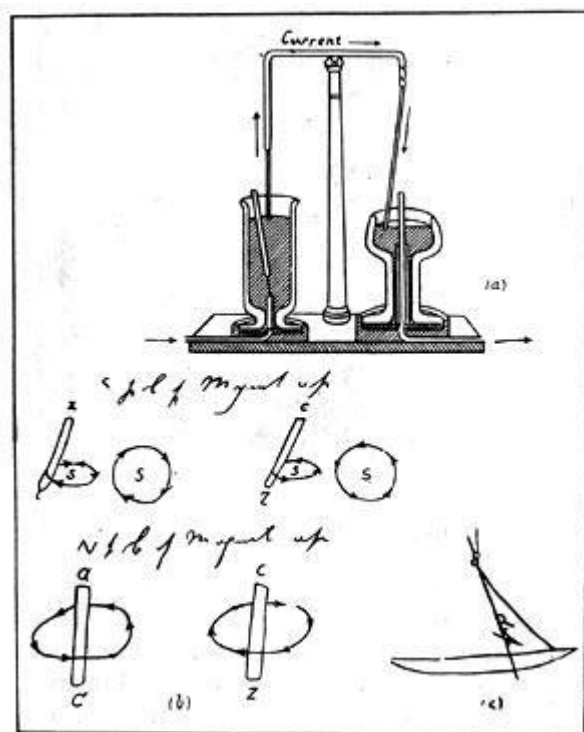


Рис. 37. Электромагнитное вращение. Рисунок Фарадея

Установленный Фарадеем факт, что электродвижущая сила индукции возникает при изменении магнитного потока (замыкании, размыкании, изменении тока в индуцирующих проводниках, приближении и удалении магнита и т. д.), Максвелл выразил равенством:

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}. \quad (1')$$

Здесь ϵ – электродвижущая сила индукции, Φ – магнитный поток, охватываемый проводником, в котором индуцируется ток. фарадей говорит о том, что способность индуцировать токи «проявляется по окружности вокруг магнитной равнодействующей». Это, как показал Масквелл, означает, что переменное магнитное поле окружено вихревым электрическим полем. В векторной форме закон, открытый фарадеем, выражается уравнением:

$$V = - \frac{\partial A}{\partial t},$$

Знак минус, поставленный в равенствах (1) и (1'), соответствует правилу, установленному петербургским академиком Э. Х. Ленцем (родился 12 февраля 1804 г. в Дерпте (Тарту), умер в Риме 29 января 1865 г.). 29 ноября 1833 г. Ленц доложил Петербургской Академии наук работу «Об определении направления гальванических токов, возбуждаемых электродинамической индукцией». В этой работе он обращает внимание на то, что Фарадей дает различные правила для определения направления индуцируемых токов в случае вольта-электрической и в случае магнитоэлектрической индукции. Ленц понял, что разные правила, предложенные Фарадеем, затушевывают то обстоятельство, что во всех случаях индукции существует один и тот же индукционный процесс, подчиняющийся общему правилу. Это правило Ленц формулирует следующим образом: «Если металлический проводник движется поблизости от гальванического тока или магнита, то в нем возбуждается гальванический ток такого направления, что если бы данный проводник был неподвижным, то ток мог бы обусловить его перемещение в противоположную сторону; при этом предполагается, что покоящийся проводник может перемещаться только в направлении движения или в противоположном направлении».

Ленц рассматривает ряд примеров на применение своего правила и показывает, что во всех случаях возникает индукционный ток такого направления, что он противодействует изменению, порождающему его.

В 1846 г. француз Нейман (1798-1895) нашел выражение закона индукции в следующем виде:

$V = -\delta A / dt$ где знак минус показывает, что на создание индукционного тока надо затратить энергию.

Фарадей продолжал изучение электромагнитной индукции во второй серии своих «Экспериментальных исследований» (январь 1832 г.).

В третьей серии (январь 1833 г.) Фарадей кладет конец спору о различных видах электричества: обыкновенном, гальваническом, животном, индукционном. Рядом опытов он показывает, что все виды электричества тождественны между собой, различаясь только знаком. Исследуя действия, производимые обыкновенным, гальваническим, магнитным, термическим и животным электричеством, Фарадей приходит к фундаментальному заключению: «Отдельные виды электричества тождественны по своей природе, каков бы ни был их источник».

В июне 1833 г. появилась пятая серия «Экспериментальных исследований», посвященная явлениям электролиза. В этой серии, а также в последующих—шестой, седьмой и восьмой – Сериях Фарадей занимается изучением химических действий тока.

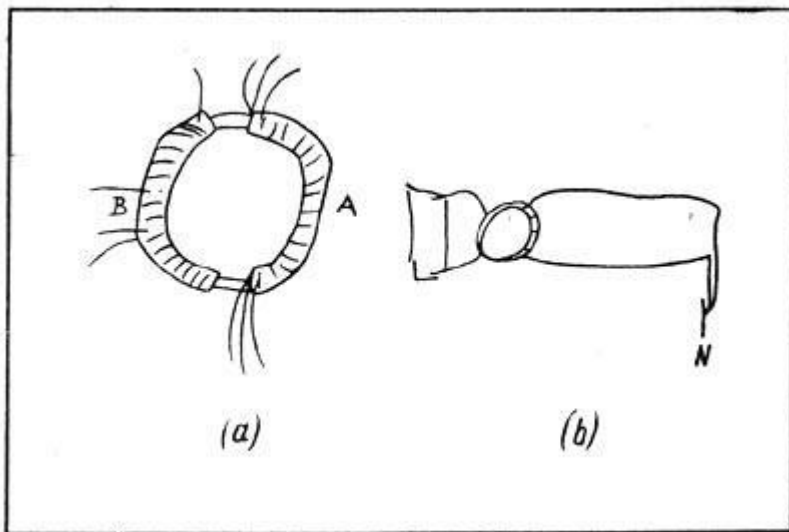


Рис. 38 Опыт по электромагнитной индукции. Рисунок Фарадея

Химические действия тока были открыты сразу после изобретения вольтова столба. Дэви открыл электролитическим разложением щелочные металлы. Иоганн Риттер обнаружил поляризацию гальванического элемента. Пропуская ток через подкисленную воду, он установил, что электроды, опущенные в электролит и отключенные от источника, снова дают после их соединения проводником электрохимическое разложение, но в обратном направлении. Так был открыт аккумулятор.

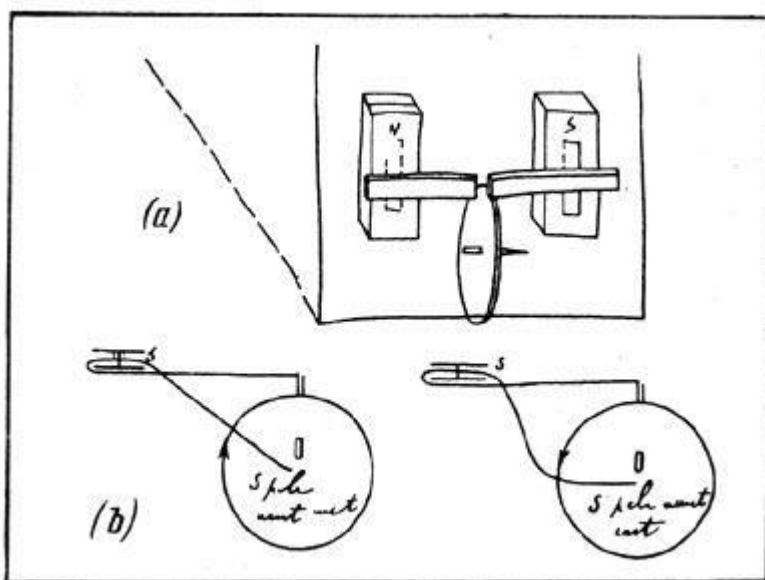


Рис. 39. Униполярная машина. Рисунок Фарадея

Прибалтийский ученый Кристиан Гротгус (1785–1822) впервые пытался представить механизм электролиза посредством цепочек полярно заряженных молекул.

В пятой серии Фарадей формулирует точный закон электролиза: «Что бы собой ни представляло разлагаемое вещество: воду, растворы солей, кислоты, расплавленные тела и т. д., – для одного и того же количества электричества сумма электрохимических действий есть также величина постоянная, т. е. она всегда эквивалентна стандартному химическому действию, основанному на обычном химическом средстве»

В седьмой серии Фарадей формулирует этот закон более сжато: «Химическое действие электрического тока прямо пропорционально абсолютному количеству проходящего электричества».

Фарадей вводит новую терминологию, ныне общеупотребительную. Электроды,

подводящие ток к разлагаемому раствору, он называет анодом и катодом. Разложимые вещества он называет электролитами, вещества, на которые разлагаются электролиты, — ионами, а именно анионами и катионами, смотря по тому, где отлагается вещество — у анода или катода. «Числа, соответствующие весовым количествам, в которых они выделяются, я называю электрохимическими эквивалентами».

Фарадей устанавливает важный факт, что для выделения любого вещества в количестве, равном его электрохимическому эквиваленту, требуется одно и то же количество электричества. Эта величина играет важную роль в современной физике, являясь одной из основных физических констант, и называется «число фарадея». Фарадей связывает этот факт с основными представлениями химии. Он пишет: «Согласно этой теории эквивалентные веса тел представляют собой такие количества их, которые содержат равные количества электричества... Иначе если принять атомную теорию и соответствующие ей выражения, то атомы тел, эквивалентные друг другу в отношении их обычного химического действия, содержат равные количества электричества, естественно связанного с ними». Таким образом фарадей приходит к представлению о некотором элементарном заряде, связанном с атомами вещества. Он указывает, что «атомы материи каким-то образом одарены электрическими силами или связаны с ними и им они обязаны своими наиболее замечательными качествами, и в том числе своим химическим сродством друг к другу».

Э. Х. Ленц



Все это позволяет высказать утверждение, что фарадей является основателем электронной теории вещества, впервые высказавшим мысль о дискретности электричества, об элементарном электрическом заряде. Тринадцатый раздел седьмой серии, в котором содержатся эти глубокие мысли, называется «Об абсолютном количестве электричества, связанном с частицами или атомами материи». Это название говорит само за себя.

В девятой серии, озаглавленной «Об индуктивном влиянии электрического тока на самого себя и об индуктивном действии электрических токов вообще», фарадей описывает явление самоиндукции. Это явление было открыто независимо друг от друга американцем Генри и англичанином Дженкиным. фарадей упоминает только о последнем, очевидно, не зная об открытии Генри. Современная физика увековечила приоритет Генри, присвоив единице индуктивности название генри.

Фарадей описывает экспериментальную установку, посредством которой и донныне демонстрируют на лекциях явление самоиндукции. Он констатирует, что самоиндукция аналогична инерции в механике, указывает, что индуктивность проводника зависит от его формы и особенно возрастает, если проводник свернуть в спираль. Все это заставляет его еще раз вернуться к идее электротонического состояния и к исследованию связи между

электрическими и магнитными силами. Мысль фарадея неустанно обращается к пространству, окружающему проводники, и в его уме постепенно вызревает глубокая идея поля.

В одиннадцатой серии фарадей подробно исследует диэлектрические свойства веществ, вводя для их характеристик особое число, которое он называет удельной индукцией или удельной индуктивной способностью. Эту величину позже назвали диэлектрической постоянной, а ныне называют диэлектрической проницаемостью. Исследование диэлектриков вновь подводит фарадея к мысли о существовании роли среды в электрических взаимодействиях, которые как бы разливаются в окружающем пространстве по кривым линиям. Это последнее обстоятельство особенно подчеркивает фарадей, считая, что оно противоречит картине действия на расстоянии, принятой сторонниками мгновенного дальнего действия.

От опытов с диэлектриками фарадей переходит к исследованию электрического разряда в газах. Он описывает различные формы разряда в газах при атмосферном давлении и в разреженном состоянии. В последнем случае фарадею удалось обнаружить темное пространство, разделяющее области свечения у катода и у анода. Это темное пространство ныне называется фарадеевым. Так фарадей положил начало детальному изучению разрядов в газах, той области физики, которую он сам считал важной и из которой в дальнейшем историческом развитии возникли электроника, рентгенофизика, радиоактивность.

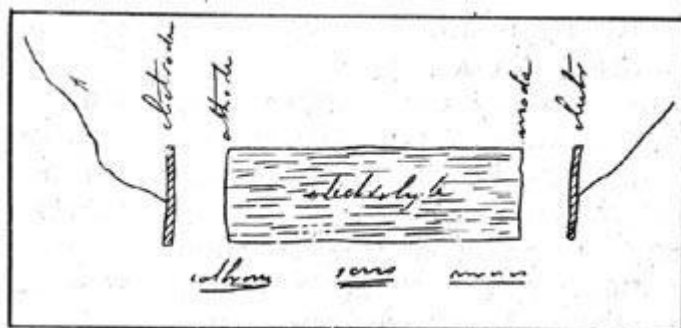


Рис. 40. Рисунок Фарадея по электролизу

В шестнадцатой и семнадцатой сериях «Экспериментальных исследований по электричеству» фарадей рассматривает спор между сторонниками контактной теории источника электрического тока и сторонниками химической теории. Контактная теория, ведущая свое происхождение от Вольты, «находит источник мощности в контакте» разнородных проводников, а химическая – «в химической силе», как выражается фарадей, или в химической энергии, как бы сказали мы. Свое мнение фарадей – он является сторонником химической теории – обосновывает многочисленными соображениями и экспериментальными фактами. В качестве окончательного вывода он прямо указывает, что «контактная теория допускает, что сила... может будто бы возникнуть из ничего, что без всякого изменения действующей материи и без расхода какой-либо производящей силы может производиться ток, который будет вечно идти против постоянного сопротивления...». «Это было бы поистине сотворением силы, – продолжает Фарадей, – и это не похоже ни на какую другую силу в природе».

Эти слова были написаны в январе 1840 г., когда закон сохранения энергии еще не был открыт, но фарадей пишет так, как будто ему этот закон известен. Более того, он ясно представляет картину превращения энергии из одного вида в другой. «Мы имеем много процессов, – пишет он, – при которых форма силы может претерпеть такие изменения, что происходит явное превращение ее в другую. Так мы можем превратить химическую силу в электрический ток или ток в химическую силу. Прекрасные опыты Зеебека и Пельтье показывают взаимную превращаемость теплоты и электричества, а опыты Эрстеда и мои собственные показывают взаимную превращаемость электричества в магнетизм. Но ни в одном случае, даже с электрическим угрем и скатом, нет чистого сотворения силы; нет

производства силы без соответствующего израсходования чего-либо, что питает ее».

Этот 2071-й параграф семнадцатой серии, датированный 29 декабря 1839 г., представляет по сути дела законченную качественную формулировку закона сохранения и превращения энергии. Мысли, высказанные здесь фарадеем, очень близки воззрениям

Энгельса на закон сохранения энергии. Энгельс подчеркивает в законе именно превращаемость форм энергии, фарадей на собственном опыте осознал эту сторону закона.

Он «превратил магнетизм в электричество», исследовал химические превращения в электрической цепи, он, наконец, искал превращения света в магнетизм, тяготения – в электричество и магнетизм. Читая летом 1834 г. популярные лекции о взаимоотношении электрических и магнитных явлений, он последнюю, шестую лекцию посвятил вопросу о взаимоотношении «химического сродства, электричества, теплоты, магнетизма и других сил материи».

Эта философская установка Фарадея в значительной степени способствовала его научным достижениям. Он открыл электромагнитную индукцию не случайно, он напряженно искал ее десять лет. Осенью 1845 г. он открывает магнитное вращение плоскости поляризации, получившее в науке название эффекта фарадея. Этот тонкий эффект опять-таки не был случайным открытием.

Девятнадцатую серию, посвященную эффекту фарадея, он открывает следующим признанием: «Я давно уже придерживался мнения – и оно почти достигло степени убеждения – ... что различные формы, в которых проявляются силы материи, имеют общее происхождение, или, другими словами, настолько близко родственны друг другу и взаимно зависимы, что они могут как бы превращаться друг в друга и обладают в своем действии эквивалентами силы», фарадей сообщает, что он давно и безуспешно пытался «открыть прямую связь между светом и электричеством» и что «в конце концов мне удалось намагнитить и наэлектризовать луч света и осветить магнитную силовую линию». Далее он описывает свои опыты по вращению плоскости поляризации света магнитным полем.

В. Вебер



Фундаментальная идея о взаимосвязи, взаимопревращаемости различных сил природы дополнялась у фарадея другой фундаментальной идеей об активной роли среды, в том числе и пустого пространства, в физических процессах. В двадцатой серии он описывает влияние магнитного поля на различные среды и находит диамагнетизм и парамагнетизм (термины введены фарадеем).

Тщательное изучение электрических и магнитных свойств вещества в конце концов привело фарадея к установлению фундаментальной новой идеи, идеи поля. фарадей разработал экспериментальную методику исследования магнитного поля с помощью

пробной катушки и баллистического гальванометра. Он ввел метод изображения магнитного поля с помощью силовых линий. Он писал в 1851 г.: «Я..., изучая отношение вакуума к магнитной силе и общий характер магнитных явлений, протекающих вне магнита, больше склоняюсь к мысли, что передача силы представляет собой именно такое явление, протекающее вне магнита; я считаю невероятным, что эти явления представляют собой простое притяжение и отталкивание на расстоянии». Следует отметить, что современники фарадея предпочитали идею «простого притяжения и отталкивания на расстоянии».

Слишком осязательны были успехи Ньютона, формула закона тяготения которого так блестяще оправдалась в небесной механике. Напоминающие эту формулу законы Кулона дали возможность развить математическую теорию электростатики и магнитостатики. Амперу удалось включить в эту схему и электромагнетизм. Теперь оставалось так обобщить закон Ампера, чтобы он включил в себя и индукционные процессы, открытые и изученные фарадеем. Эту задачу поставил перед собой Вильгельм Вебер (1802-1891), которому в конце концов удалось найти формулу взаимодействия заряженных электрических частиц (1846).

Однако в эту формулу входили не только заряды взаимодействующих частиц и их положения, но также их относительная скорость и ускорение, что делало ее совсем непохожей на законы Ньютона и Кулона и сложной для расчетов.

Фарадей же вообще отказался от концепции действия на расстоянии и ввел в физику совершенно новый объект – физическое поле. «При этой точке зрения на магнит, – писал Фарадей в 1852 г., – среда или пространство, его окружающие, играют столь же существенную роль, как и самый магнит, будучи частью настоящей и полной магнитной системы». Для фарадея поле – это то, что излучается, распространяется с конечной скоростью в пространстве, взаимодействует с веществом. Примером такого поля является излучение Солнца. «В этом случае лучи (которые представляют собой силовые линии) проходят через промежуточное пространство; но здесь мы можем оказывать на эти линии действие при помощи различных сред, расположенных на их пути. Мы можем изменить их направление посредством отражения или преломления; мы можем заставить их идти по криволинейным или ломаным путям. Мы можем отрезать их от их источника и затем искать их и найти, прежде чем они достигнут своей конечной цели. Они связаны с временем и требуют 8 минут, чтобы пройти от Солнца до Земли; таким образом, они могут существовать независимо и от своего источника и от места, в которое в конце концов приходят. Таким образом, они имеют ясно различимое физическое существование» (подчеркнуто мною, – Я. К.).

Такова концепция поля, к которой фарадей пришел в результате длительного научного пути и первоначальный набросок которой он дал в своем запечатанном письме 1832 г. С фарадеем в физику наряду с частицами вещества вошла и новая форма материи – поле, излучаемое и поглощаемое частицами и распространяющееся в пространстве с конечной скоростью. Математически эта идея была разработана гениальным преемником фарадея Джеймсом Клерком Максвеллом.

Напряженная работа надломила душевные силы фарадея. Все чаще и чаще он жалуется на ослабление памяти: «Уже через день я не могу припомнить выводов, к которым пришел накануне... Я забываю, какими буквами изобразить то или другое слово», – пишет он в одном из писем. В таком состоянии он проводит, угасая, долгие годы, год от года сужая круг своей деятельности. Умер он 25 августа 1867 г.

Возникновение и развитие термодинамики. Карно

Если в XVIII в. в физике (за исключением механики) господствовал эксперимент, так что физику определяли как науку «о всем том, что через опыты познать можно», то в XIX в. картина начинает меняться. Экспериментальная физика продолжает господствовать над теоретической, и редактор ведущего физического журнала «Annalen der Physik» Поггендорф, будучи сам экспериментатором, тщательно заботится о том, чтобы на страницы журнала не

попала «метафизика». Но уже волновая оптика Юнга и Френеля представляла собой, кроме совокупности изящных и остроумных опытов, стройную теоретическую систему, позволившую Гамильтону предсказать тонкое, трудно наблюдаемое явление конической рефракции. Электростатика и магнитостатика в руках Гаусса и Грина развивались по образцу ньютоновской теории тяготения, и ее основные результаты и поныне входят в курсы теоретической физики. Электродинамика Ампера позволяла надеяться, что аналогичная математическая теория будет разработана и для электромагнетизма. Но великие открытия фарадея спутали все карты, и, хотя поиски обобщающего закона не прекращались, в электродинамике до Максвелла господствовал идейный разброд.

Труднее всего поддавались теоретической обработке тепловые явления. Здесь еще шло накопление эмпирических фактов, разрабатывались методы определения тепловых характеристик: коэффициентов расширения, теплопроводности, удельных теплоемкостей. Эти измерения нужны были и для бурно развивающейся теплотехники. «Его величество пар» работал на фабриках и заводах, на железных дорогах, на морских и речных путях. Паровая машина была основным и единственным двигателем бурно развивающейся капиталистической индустрии.

Правительство капиталистической Франции сочло необходимым субсидировать исследования Анри Виктора Реньо (1810–1878), предпринятые «с целью определить числовые данные, важные в теории паровой машины». «Большие средства, представленные в распоряжение Реньо, – писал А. Г. Столетов, – позволили ему не стесняться ни помещением, ни размерами аппаратов». Лаборатория Реньо помещалась в небольшом здании, построенном им в саду College de France. Лаборатория была хорошо снабжена для термодинамических исследований (паровая машина в 4 л. с., газометры, манометры в 20 м длиной, точные термометры, барометры, прибор, служивший Реньо для определения абсолютного расширения ртути, приборы для калориметрических измерений и т. д.). С 1854 г. Реньо директор Севрской фарфоровой фабрики, где для него также сооружается обширная лаборатория для научных исследований по теплоте. Реньо привлекает к своим исследованиям молодых ученых. В основном молодые исследователи из Франции, Германии, Италии, Швеции, Швейцарии и России работали в Севрской лаборатории Реньо. Эксперименты, которые здесь проводились, относились к определению скрытой теплоты различных жидкостей при переходах из парообразного состояния в жидкое и наоборот. Методы тепловых измерений, предложенные Реньо, переносились в научные и учебные лаборатории высших учебных заведений, и еще в XX в. почти все физические практикумы университетов по теплоте были поставлены «по Реньо».

Исследования Реньо начали публиковаться в конце 30-х годов XIX в. В 1847 г. вышел первый том его «Сообщений об опытах предприятий по распоряжению министров общественных работ». Лаборатория Реньо вместе с его последними трудами была уничтожена немцами при взятии Парижа в 1870 г.

Реньо был ярким представителем экспериментального направления в физике XIX в. А. Г. Столетов совершенно точно характеризовал его: «Реньо не проводил новых идей в науке, если не считать того скептицизма, с которым он относился к слишком ранним обобщениям фактов и обличал неточность положений, до тех пор принимавшихся за непреложные законы. Новые идеи, как например механическая теория теплоты, проникли в науку помимо Реньо, можно сказать, вопреки ему: он не вдруг в них уверовал. Он считал себя работником, собирателем материалов, измерителем, и в этом смысле он не имеет себе подобного».

Эта очень важная характеристика, данная Столетовым, может быть приложена не к одному Реньо, а ко многим, даже подавляющему большинству физиков первой половины XIX в. Таким был, например, уже упоминавшийся Иоганн Кристиан Поггендорф, внесший определенный вклад в развитие электрических измерений. Таким был и Генрих Густав Магнус (1802–1870), открывший известный «эффект Магнуса» физики этой школы, как справедливо указывал Столетов, настороженно и недоверчиво относились к новым теоретическим обобщениям, и рождение термодинамики было трудным.

В общей обстановке эмпиризма лишь два исследования теоретического характера, выполненные в первой четверти столетия, стоят особняком. Первое исследование носило математический характер и оказало существенное влияние на развитие математической физики. Оно было выполнено французским математиком Жан Батистом Жозе-фом Фурье (1768-1830). Его работа «Аналитическая теория тепла» содержала математическую теорию теплопроводности, которой Фурье занимался начиная с 1807 г. Фурье вывел дифференциальное уравнение теплопроводности и разработал методы его интегрирования при заданных краевых условиях для некоторых частных случаев. В своей математической теории Фурье применил разложение функции в тригонометрический ряд (ряд Фурье). Возникшая в математике дискуссия по этому поводу оказалась плодотворной, и в математическую физику прочно вошли ряды и интеграл Фурье.

Фурье рассматривал теплоту как некоторую жидкость (теплород). Большого ему не требовалось, и его теория казалась одним из достижений теории теплорода. Эту же теорию разделял и другой замечательный ученый, военный инженер Сади Карно (1796-1832). Сади Никола Леонард Карно был старшим сыном знаменитого «организатора победы» французской революции Лазаря Карно. Сади родился 1 июня 1796 г. В 1812 г. он поступил в Политехническую школу и окончил ее военным инженером в 1814 г. Наполеон к этому времени был разгромлен и сослан на остров Святой Елены. Отец Сади был осужден, и военная карьера самого Карно была сомнительной. Спустя три года после окончания школы он сдал экзамен и с чином поручика перешел в главный штаб, занимаясь в основном наукой, музыкой и спортом. В 1824 г. был издан его главный труд «Размышления о движущей силе огня». Через четыре года Карно вышел в отставку в чине капитана. Умер он 24 августа 1832 г. от холеры.

«Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» начинаются с характеристик огромной движущей силы тепла. «Развивать эту силу и приспособлять ее для наших нужд—такова цель тепловых машин», —пишет Карно. Он характеризует быстрое развитие тепловых машин и предсказывает им большое будущее: «Если когда-нибудь, — говорит Карно,— улучшения тепловой машины пойдут настолько далеко, что сделают дешевой ее установку и использование, то она соединит в себе все желательные качества и будет играть в промышленности роль, всю величину которой трудно предвидеть, ибо она не только заменит имеющиеся теперь в употреблении двигатели удобным и мощным двигателем, который можно повсюду перенести и поставить, но и даст тем производствам, к которым будет применена, быстрое развитие и может даже создать новые производства». Предвидение Карно блестяще оправдалось. Двигатели внутреннего сгорания и паровые турбины получили широкое развитие, создали новые производства: авиационное и автомобильное. Новые двигатели второй половины XX в — ракеты — создали сверхскоростной воздушный транспорт и вывели человечество в космос.

«Движущая сила тепла» в наши дни играет огромную роль. Но во времена Карно она только начинала свой путь как малоэкономичная паровая машина. Хотя со времен Севери и Ньюкомена прошло более столетия и паровая машина прочно утвердилась в промышленности, сущность ее работы оставалась неясной, «явление получения движения из тепла не было рассмотрено с достаточно общей точки зрения», как отмечал Карно.

Карно видит ненормальность случайных эмпирических усовершенствований паровых машин, он хочет дать теоретические основы теплотехники. В этом огромное историческое значение работы Карно, выходящее далеко за рамки специального исследования. Характерно, что он в своем труде не ограничивается существующими паровыми машинами, а говорит о тепловом двигателе вообще. «Чтобы рассмотреть принцип получения движения из тепла во всей его полноте, —пишет Карно,—надо его изучить независимо от какого-либо определенного агента; надо провести рассуждения, приложимые не только к паровым машинам, но и ко всем мыслимым тепловым машинам, каково бы ни было вещество, пущенное в дело и каким бы образом ни производилось воздействие» (подчеркнуто мною. —П. К.).

Так, отправляясь от конкретной задачи, подсказанной практикой, Карно формулирует абстрактный, общий метод ее решения – термодинамический метод.

Сочинение Карно явилось началом термодинамики. Карно ввел в термодинамику метод циклов. Цикл Карно описывается сегодня во всех учебниках физики. В них он сопровождается диаграммой процесса и расчетами для идеального газа, которых нет у Карно. Диаграмма и расчеты были даны в 1834 г. Клапейроном, который повторил работу Карно.

Бенуа Поль Эмиль Клапейрон (1799– 1864), французский академик и инженер, был в 1820-1830 гг. профессором Петербургского института инженеров путей сообщения. В 1834 г. он дал общепотребительную форму трактовки цикла Карно и объединенное уравнение газового состояния. Ему же принадлежит вывод зависимости точки плавления от давления (уравнение Клапейрона–Клаузиуса).

Карно в своем исследовании придерживается еще теории теплорода. Он рассматривает работу тепловой машины как результат перепада теплорода с высшего уровня на низшие. «Возникновение движущей силы, – пишет Карно, – обязано в паровых машинах не действительной трате теплорода, а его переходу от горячего тела к холодному...»

Общий вывод Карно формулирует следующим образом: «Движущая сила тепла не зависит от агентов, взятых для ее развития; ее количество исключительно определяется температурами тел, между которыми в конечном счете происходит перенос теплорода».

В наше время этот вывод Карно формулируется иначе: коэффициент полезного действия идеальной тепловой машины не зависит от рабочего вещества, а зависит лишь от температуры нагревателя и холодильника.

Вывод этот вошел в термодинамику в качестве фундаментального принципа, а сама работа Карно, изложенная Клапейроном и напечатанная в 1843 г. на немецком языке в «Анналах» Поггендорфа, послужила исходным пунктом для исследований В.Томсона и Р. Клаузиуса, приведших к открытию второго начала термодинамики.

Хотя Карно в своей работе опирался на неверную теорию теплорода, его глубокий ум скоро почувствовал недостатки этой теории. (*Исторический анализ пути, приведшего Карно к изложенному открытию, дан в работе Б. И. Спасского и Ц. С. Сарангова «К истории открытия теоремы Карно», УФН, 1960, т. 99, вып. 2.*) Карно сделал следующее примечание к своей работе: «Основные положения, на которые опирается теория тепла, требуют внимательного исследования. Некоторые данные опыта представляются необъяснимыми при современном состоянии теории». В своем дневнике, выдержки из которого были опубликованы его братом после смерти Карно, он пишет: «Тепло не что иное, как движущая сила или, вернее, движение, изменившее свой вид; это движение частиц тел; повсюду, где происходит уничтожение движущей силы, возникает одновременно теплота в количестве, точно пропорциональном количеству исчезнувшей движущей силы. Обратное: всегда при исчезновении тепла возникает движущая сила.

Таким образом, можно высказать общее положение: движущая сила существует в природе в неизменном количестве; она, собственно говоря, никогда не создается, никогда не уничтожается; в действительности она меняет форму, т. е. вызывает то один род движения, то другой, но никогда не исчезает».

Если заменить слова «движущая сила» словом «энергия», то мы получим законченную формулировку закона сохранения энергии. В последней формуле Карно дает значение механического эквивалента теплоты. Оно равно 370 кгс • м на 1 ккал, т. е. имеет правильный порядок величины.

Таким образом уже к 30-м годам XIX в. настало время для возвращения к идеям Ломоносова относительно теплоты. К сожалению, имя Ломоносова к тому времени на Западе было основательно забыто, и основоположники механической теории теплоты создавали ее заново.

Открытие закона сохранения и превращения энергии.

В.И. Ленин указывал, что развитие познания совершается по спирали. Наступает время, когда наука возвращается к идеям, однажды уже высказанным. Но это возвращение совершается на новом, более высоком уровне, которому предшествовал длительный исторический опыт познания. Ленин указывал, что попытки сохранить господствующие идеи, продолжить движение науки по прямой приводят к окостенению познания, к реакции, к идеализму. Мысли Ленина о развитии познания блестяще подтверждаются историей открытия закона сохранения энергии.

Воззрения на теплоту как форму движения мельчайших «нечувствительных» частиц материи высказывались еще в XVII в. ф. Бэкон, Декарт, Ньютон, Гук и многие другие приходили к мысли, что теплота связана с движением частиц вещества. Но со всей полнотой и определенностью эту идею разрабатывал и отстаивал Ломоносов. Однако он был в одиночестве, его современники переходили на сторону концепции теплорода, и, как мы видели, эта концепция разделялась многими выдающимися учеными XIX столетия.

Успехи экспериментальной теплофизики, и прежде всего калориметрии, казалось, свидетельствовали в пользу теплорода. Но тот же XIX в. принес наглядные доказательства связи теплоты с механическим движением. Конечно, факт выделения тепла при трении был известен с незапамятных времен. Сторонники теплоты усматривали в этом явлении нечто аналогичное электризации тел трением – трение способствует выжиманию теплорода из тела. Однако в 1798 г. Бенжамен Томпсон (1753-1814), ставший с 1790 г. графом Румфордом, сделал в мюнхенских военных мастерских важное наблюдение: при высверливании канала в пушечном стволе выделяется большое количество тепла. Чтобы точно исследовать это явление, Румфорд проделал опыт по сверлению канала в цилиндре, выточенном из пушечного металла. В высверленный канал помещали тупое сверло, плотно прижатое к стенкам канала и приводившееся во вращение. Термометр, вставленный в цилиндр, показал, что за 30 минут операции температура поднялась на 70 градусов Фаренгейта. Румфорд повторил опыт, погрузив цилиндр и сверло в сосуд с водой. В процессе сверления вода нагревалась и спустя 2,5 часа закипала. Этот опыт Румфорд считал доказательством того, что теплота является формой движения.

Р. Майер



Опыты по получению теплоты трением повторил Дэви. Он плавил лед трением двух кусков друг о друга. Дэви пришел к выводу, что следует оставить гипотезу о теплороде и рассматривать теплоту как колебательное движение частиц материи. Эта гипотеза была поддержана Юнгом. В 1837 г. немецкий аптекарь (с 1867 г. профессор фармакологии) Фридрих Мор (1806–1879) послал редактору журнала «Annalen der Physik» Поггендорфу

статью «О природе теплоты». Тот ее не принял, сославшись на то, что статья не содержит новых экспериментальных исследований. В ней Мор со всей определенностью указывал, что теплота является формой движения.

Мы видели, как фарадей в споре со сторонниками контактной теории в 1839–1840 гг. утверждал идею превращения сил с сохранением их постоянной количественной величины, фарадей по характеру мышления резко отличался от профессиональных ученых. Поэтому можно с полным основанием утверждать, что идея закона сохранения и превращения энергии вызревала не у специалистов-физиков. И не специалисты сыграли решающую роль в утверждении великого закона. Врач Майер, пивовар Джоуль, врач Гельмгольц – вот те три человека, за которыми история науки навсегда закрепила славу открывателей закона сохранения и превращения энергии.

Майер. Юлиус Роберт Майер родился 25 ноября 1814 г. в Гейльбронне в семье аптекаря. Он получил медицинское образование и отправился в качестве корабельного врача на о. Ява (до этого он несколько месяцев работал в клиниках Парижа). В течение годичного плавания (1840–1841) врач Майер пришел к своему великому открытию. По его словам, на этот вывод его натолкнули наблюдения над изменением цвета крови у людей в тропиках. Производя многочисленные кровопускания на рейде в Батавии, Майер заметил, что «кровь, выпускаемая из ручной вены, отличалась такой необыкновенной краснотой, что, судя по цвету, я мог бы думать, что я попал на артерию». Он сделал отсюда вывод, что «температурная разница между собственным теплом организма и теплом окружающей среды должна находиться в количественном соотношении с разницей в цвете обоих видов крови, т. е. артериальной и венозной... Эта разница в цвете является выражением размера потребления кислорода или силы процесса сгорания, происходящего в организме».

Во времена Майера было распространено учение о жизненной силе организма (витализм). Живой организм действует благодаря наличию в нем особой жизненной силы. Тем самым физиологические процессы исключались из сферы физических и химических законов и обуславливались таинственной жизненной силой. Майер своим наблюдением показал, что организм управляется естественными физико-химическими законами, и прежде всего законом сохранения и превращения энергии. Вернувшись из путешествия, он тут же написал статью под заглавием «О количественном и качественном определении сил», которую направил 16 июня 1841 г. в журнал «Анналы...» Поггендорфу. Тот не напечатал статью и не вернул ее автору, она пролежала в его письменном столе 36 лет, где и была обнаружена после смерти Поггендорфа.

Поггендорф имел определенные основания отнестись сурово к работе Майера. Великая идея в ней выступает еще в неясной форме, статья содержит туманные и даже ошибочные утверждения. Вместе с тем в ней имеются гениальные высказывания, которые свидетельствуют о ясном понимании Майером величия сделанного им открытия. Она начинается с общего утверждения, что «мы можем вывести все явления из некоторой первичной силы, действующей в направлении уничтожения существующих разностей и объединения всего сущего в однородную массу в одной математической точке». По Майеру, следовательно, все движения и изменения в мире порождаются «разностями», вызывающими силы, стремящиеся уничтожить эти разности. Но движение не прекращается, потому что силы неуничтожаемы и восстанавливают разности. «Таким образом, принцип, согласно которому раз данные силы количественно неизменны, подобно веществам, логически обеспечивает нам продолжение существования разностей, а значит, и материального мира».

Эта формулировка, предложенная Майером, легко уязвима для критики. Не определено точно понятие «разность», неясно, что понимается под термином «сила». Это предчувствие закона, а не самый еще закон. Но из дальнейшего изложения понятно, что под силой он понимает причину движения, которое измеряется произведением массы на скорость. Но причины измеряются произведенным действием, следовательно, «это произведение MS точно выражает также самую силу V ; мы положим $V = MS$ ». Ошибка Майера, не репутавшего количество движения с «силой», под которой он в дальнейшем

понимает «энергию движения», очевидна. Но замечательно, что, рассматривая соударение двух тел равной массы, движущихся навстречу друг другу с равными скоростями, Майер описывает исчезновение механического движения оператором 0 («нуль») и считает, что движение $2AC$ (A – масса тел, C – скорость) при абсолютно неупругом ударе не исчезло, а превратилось в другую форму, которую он обозначает символом $02AC$, а несколько позднее $02MC$. Майер считает, что этой формой движения является теплота, и пишет: «Нейтрализованное движение $02MC$, поскольку движение не происходит действительно в противоположных направлениях, служит выражением для теплоты.

Движение, теплота, и как мы намерены показать в дальнейшем, электричество представляют собою явления, которые могут быть сведены к одной силе, которые измеряются друг другом и переходят друг в друга по определенным законам».

Это вполне определенная и ясная формулировка закона сохранения и превращения силы, т. е. энергии. В первой половине цитаты Майер говорит о конкретном случае применения закона при неупругом ударе («поскольку движения не происходят действительно в противоположных направлениях»), исчезнувшее механическое движение переходит в тепло. То, о чем думали еще Декарт и особенно Ломоносов, высказано теперь Майером со всей категоричностью: «...Образовавшаяся теплота, – пишет он, – пропорциональна исчезнувшему движению». Однако в этой незаконченной работе Майер не дает количественной оценки механического эквивалента теплоты. Такая оценка появилась в следующей работе Майера – «Замечания о силах неживой природы», опубликованной в «Annalen der chemie und Pharmazie» за 1842 г.

Здесь Майер ставит своей задачей уточнить понятие «силы» и найти соотношение между ними. Поскольку, по мнению Майера, силы являются причинами, к ним применимо общефилософское положение: «...causa aequat effectum (причина равна действию)». Так как в цепи причин и действий ни один член не может стать нулем, то силы неразрушимы. Вместе с тем различные причины являются проявлением одной и той же сущности.

«...Причины, – говорит Майер, – суть (количественно) неразрушимые и (качественно) способные к превращениям объекты». По Майеру, в природе существуют два вида причин: материальные и силы. «Силы суть следовательно: неразрушимые, способные к превращениям, невесомые объекты».

К таким объектам относится «...пространственная разность весомих объектов», т. е. то, что теперь мы называем потенциальной энергией тяжелого тела в поле тяжести. Майер подчеркивает, что для этой силы, которую он называет силой падения, поднятие не менее необходимо, чем тяжесть тела, и падение тел нельзя приписывать только действию тяжести.

Исчезновение силы падения сопровождается появлением живой силы, которую Майер измеряет произведением массы на квадрат скорости. Закон сохранения живых сил в механике основан, по Майеру, «на общем законе неразрушимости причин».

Однако в «бесконечном числе случаев» сила падения не превращается в движение или поднятие груза, и Майер ставит вопрос: «Какую дальнейшую форму способна принять сила, которую мы познали как силу падения или движения?». Ответ на этот вопрос дает опыт, который показывает, что при трении получается теплота. «...Для исчезающего движения, – говорит Майер, – во многих случаях... не может быть найдено никакого другого действия, кроме тепла, а для возникшего тепла – никакой другой причины, кроме движения...» Майер иллюстрирует эту мысль весьма современным для его эпохи примером локомотива: «Локомотив с его поездом может быть сравнен с перегонным аппаратом: тепло, разведенное под котлом, превращается в движение, а таковое снова осаждается на осях колес в качестве тепла».

Народившаяся теплотехника, подсказавшая Карно тему его замечательного сочинения, подсказала и творцам закона сохранения и превращения энергии их великую идею. Образ локомотива, появившийся в первой печатной работе Майера, наглядно подтверждает это.

Далее, Майер ставит вопрос о том, «как велико соответствующее определенному

количеству силы падения или движения количество тепла», т. е. ставит вопрос о термическом эквиваленте работы. И спользуя соотношение между теплоемкостями газов при постоянном давлении и постоянном объеме, он приходит к выводу, «что опусканию единицы веса с высоты около 365 м соответствует нагревание равного веса воды от 0 до 1°». Таким образом, Майер указал совершенно правильный метод определения механического эквивалента теплоты и правильно оценил его порядок (так же как и Карно). История науки отметила эту заслугу Майера, присвоив уравнению $c_p - c_V = R$ название «уравнение Майера».

Особенно замечательно, что Майер из своего результата сделал совершенно правильный вывод о несовершенстве паровых машин. «Если с этим результатом, – пишет он, – сравнить полезное действие наших лучших паровых машин, то увидим, что лишь очень малая часть разводимого под котлом тепла действительно превращается в движение или поднятие груза...» И здесь Майер высказывает замечательный прогноз о необходимости искать «более выгодный путь получения движения иным способом, чем посредством использования химической разности между С и 0, а именно – посредством превращения в движение электричества, полученного химическим путем».

Современные электровозы, сменившие локомотивы, подтвердили правоту Майера. Но задача замены двигателей внутреннего сгорания в автомобилях и тракторах электромоторами, питающимися удобными и экономичными химическими источниками, остается еще не решенной. Можно, подводя итоги, сказать, что, несмотря на двусмысленность термина «силы», неверную меру живой силы (вместо), эта работа Майера по праву считается основополагающей в истории закона сохранения и превращения энергии.

Особенно важна идея Майера о качественном превращении сил (энергии) при их количественном сохранении. Майер подробно анализирует всевозможные формы превращения энергии в брошюре «Органическое движение в его связи с обменом вещества», вышедшей в Гейльбронне в 1845 г. Майер сначала думал опубликовать свою статью в тех же «Анналах химии и фармации», в которых была опубликована статья 1842 г., но редактор Либих, сославшись на перегрузку журнала химическими статьями, посоветовал переслать статью в «Анналы» Поггендорфа. Майер, понимая, что Поггендорф поступит с ней так же, как со статьей 1841 г., решил опубликовать статью брошюрой за свой счет.

Таким образом, первая статья Майера не была опубликована вообще, вторая увидела свет в не читаемом физиками химическом журнале, третья – в частной брошюре. Вполне понятно, что открытие Майера не дошло до физиков, и закон сохранения открывали независимо от него и другими путями другие авторы, прежде всего Джоуль и Гельмгольц. Закономерно также, что Майер оказался втянутым в тягостно отразившийся на нем спор о приоритете.

Вернемся к брошюре Майера. Она начинается с указания, что математика получила широкое применение в технике и естествознании, «являясь прочной осью естественнонаучного исследования». Однако в биологии ее влияние незначительно, «между математической физикой и физиологией живо чувствуется пропасть». Задача сочинения Майера – «установить метод, посредством которого оказалось бы возможным сблизить эти обе науки...»

Опять-таки можно поражаться прозорливости Майера и его смелости в выборе цели. Только в наши дни благодаря введению кибернетических методов началось сближение биологии, математики и техники, о котором думал Майер.

Задавшись целью применить идеи механики в физиологии, Майер начинает с выяснения понятия силы. И здесь он вновь повторяет мысль о невозможности возникновения движения из ничего «*Ex nihilo nil fit*» («из ничего ничего не бывает»), сила – причина движения, а причина движения является неразрушимым объектом. «Количественная неизменность данного есть верховный закон природы, распространяющийся равным образом как на силу, так и на материю», – провозглашает Майер. Эта формулировка поразительно напоминает формулировку «всеобщего закона» Ломоносова, распространяемого им «и на

самые правила движения».

Заметим, что выдвигание Ломоносовым и Майером всеобщего закона сохранения в качестве «верховного закона природы» принято современной наукой, которая формулирует многочисленные конкретные законы сохранения в качестве основной опоры научного исследования.

Майер считает закон сохранения вещества прерогативой химии, закон сохранения силы – прерогативой физики. «То, что химия выполняет в отношении вещества, осуществляется физикой в отношении силы», – пишет Майер. Он говорит, что единственная задача физики – изучение силы в ее различных формах, исследование условий ее превращения. Таким образом, если химия, по Майеру, является наукой о превращении вещества, то физика является наукой о превращении силы, т. е. энергии.

В своей брошюре Майер перечисляет различные формы силы. Это, во-первых, «живая сила движения», т. е. кинетическая энергия движущихся масс. На второе место Майер ставит «силу падения», т. е. потенциальную энергию поднятого груза. «Величина силы падения измеряется произведением веса на данную высоту; величина движения – произведением движущейся массы на квадрат его скорости. Обе силы объединены также общим названием: «механический эффект».

Майер упорно опускает коэффициент $1/2$ в выражении кинетической энергии, но он правильно объединяет потенциальную и кинетическую энергию как две формы механической энергии (механического эффекта).

Упомянув об исторической задаче человека: использовать для получения движения силы природы, – Майер характеризует современную ему техническую практику следующими словами: «Новому времени выпало на долю к силам старого мира – движущемуся воздуху и падающей воде – присоединить еще одну новую силу. Этой новой силой, на действия которой с удивлением смотрят люди нашего столетия, является тепло». И далее Майер утверждает: «Тепло есть сила: оно может быть превращено в механический эффект». На современном языке это утверждение Майера гласит: тепло есть энергия, оно может совершить механическую работу. Он подсчитывает работу локомотива, тянущего состав, и утверждает: «Действующая в локомотиве сила есть тепло».

Майер подробно подсчитывает механический эквивалент теплоты из разности теплоемкостей газа (этот подсчет нередко воспроизводится в школьных учебниках физики) и находит его, опираясь на измерения Делароша и Берара, а также Дюлонга, определивших отношение теплоемкостей для воздуха равным $367 \text{ кгс} \cdot \text{м/ккал}$. (*1 кгс- м-употреблявшаяся ранее единица работы. Она равна 9,8 Дж.*)

Майер приводит данные по теплотворной способности углерода и обращает внимание на низкий коэффициент полезного действия тепловых машин, максимальное значение которого в современных ему машинах составляло 5–6%, а в локомотивах не достигало и одного процента.

Затем Майер переходит к электричеству. Он рассматривает электризацию трением, действие электрофора и указывает, что здесь «механический эффект превращается в электричество». Бегло остановившись на магнетизме, он делает вывод: затрата механического эффекта вызывает как электрическое, так и магнетическое напряжение. Здесь в анализе Майера недостает той законченности и ясности, какая обнаруживается у него при анализе взаимоотношения теплоты и механического движения. Электричество и магнетизм еще не были изучены столь подробно, как теплота, электрические измерения носили качественный характер, основные понятия не были четко разработаны. Нужно удивляться гениальной интуиции Майера, понявшего, что эти процессы подчиняются закону сохранения энергии.

В заключение своего анализа Майер останавливается на «химической силе».

Интересно, что вопрос о химической энергии у него сочетается с вопросом об энергетике солнечной системы. Он указывает, что поток солнечной энергии (силы), являющийся и на нашу Землю, «есть та непрестанно заводящаяся пружина, которая поддерживает в состоянии

движения механизм всех происходящих на Земле деятельностей». Майер набрасывает картину того механизма, который обеспечивает жизнь на Земле, круговорот воды и воздуха под действием солнечных лучей и аккумуляирования солнечной энергии для жизненных процессов.

«Природа, – пишет Майер, – поставила перед собой задачу поймать на лету льющийся на Землю свет и накопить самую подвижную силу, приведя ее в неподвижное состояние. Для достижения этой цели она покрыла земную кору организмами, которые, живя, поглощают солнечный свет и при использовании этой силы порождают непрерывно возобновляющуюся сумму химических различий. Этими организмами являются растения».

Так Майер раскрыл космическую роль растений и выдвинул перед наукой проблему фотосинтеза. Недаром строки его книги, посвященные анализу превращений солнечной энергии в живых организмах, вдохновили великого русского ученого К.А.Тимирязева, и он предпослал своей книге «Солнце, жизнь и хлорофилл» эпиграф из этой статьи Майера. Тимирязев подчеркивал в этой книге, что «рассматриваемый с точки зрения Майера процесс усвоения углерода приобретает новый и еще более широкий интерес».

Майер закончил развитие своих идей к 1848 г., когда в брошюре «Динамика неба в популярном изложении» он поставил и сделал попытку решить важнейшую проблему об источнике солнечной энергии. Майер понял, что химическая энергия недостаточна для восполнения огромных расходов энергии Солнца. Но из других источников энергии в его время была известна только механическая энергия. И Майер сделал вывод, что теплота Солнца восполняется бомбардировкой его метеоритами, падающими на него со всех сторон непрерывно из окружающего пространства. В работе 1851 г. «Замечания о механическом эквиваленте теплоты» Майер излагает сжато и популярно свои идеи о сохранении и превращении силы. Здесь он впервые защищает свой приоритет. Он признает, что открытие сделано им случайно (наблюдение на Яве), но «оно все же моя собственность, и я не колеблюсь защищать свое право приоритета». Он ссылается на свою статью 1842 г., цитирует ее, приводит значение механического эквивалента теплоты, разъясняет свои взгляды на силу, которую он рассматривает как то, что позднее назвали энергией. Майер указывает далее, что закон сохранения энергии, «а также численное выражение его, механический эквивалент теплоты, были почти одновременно опубликованы в Германии и Англии». Он указывает на исследования Джоуля и признает, что Джоуль «открыл безусловно самостоятельно» • закон сохранения и превращения энергии и что «ему принадлежат многочисленные важные заслуги в деле дальнейшего обоснования и развития этого закона». Но Майер не склонен уступать свое право на приоритет и указывает, что из самих его работ видно, что он не гонится за эффектом. Это, однако, не означает отказа от прав на свою собственность.

Спокойный и достойный тон его заявлений о приоритете маскирует ту глубокую душевную травму, которая была нанесена ему «мелкой завистью цеховых ученых» и «невежеством окружающей среды», по словам К. А. Тимирязева. Достаточно сказать, что в 1850 г. он пытался покончить жизнь самоубийством, выбросившись из окна, и остался на всю жизнь хромым. Его травили в газетах, обвиняли скромного и честного ученого в мании величия, подвергли принудительному «лечению» в психиатрической больнице. С негодованием писал К.А.Тимирязев о тех, кто преследовал Майера и искалечил его жизнь «за то только, что он был гениальным ученым в среде окружающей его жалкой посредственности».

Майер умер 20 марта 1878 г. Незадолго до смерти, в 1874 г. вышло собрание его трудов по закону сохранения и превращения энергии под заглавием «Механика тепла». В 1876 г. вышли его последние сочинения «О торричеллиевой пустоте» и «Об освобождении сил».

Джоуль. Широкое, философское понимание закона сохранения энергии Майером, обобщение им закона на явления жизни и космос смущали физиков и рассматривались ими как метафизические размышления. Но проводимые одновременно и независимо от Майера

эксперименты Джоуля подвели под обобщения Майера прочную экспериментальную основу.

Джеймс Прескотт Джоуль, манчестерский пивовар, владелец большого пивоваренного завода, родился 24 декабря 1818 г. Он рано увлекся электрическими исследованиями и конструированием электрических приборов, которые описывал систематически в небольшом специальном журнале. В октябре 1841 г. он опубликовал в «Philosophical Magazine» статью о тепловом эффекте электрического тока, в которой установил, что количество теплоты, выделяемое током в проводнике, пропорционально квадрату силы тока.

Д. Джоуль



Задолго до Джоуля аналогичные исследования были начаты петербургским академиком Э.Х. Ленцем, который опубликовал свою работу в 1843 г. под заглавием «О законах выделения тепла гальваническим током». Ленц упоминает о работе Джоуля, публикация которого опередила публикацию Ленца, но считает, что, хотя его результаты в «основном совпадают с результатами Джоуля», они свободны от тех обоснованных возражений, которые вызывают работы Джоуля.

Ленц тщательно продумал и разработал методику эксперимента, испытал и проверил тангенс-гальванометр, служивший у него измерителем тока, определил применяемую им единицу сопротивления (напомним, что закон Ома к этому времени еще не вошел во всеобщее употребление), а также единицы тока и электродвижущей силы, выразив последнюю через единицы тока и сопротивления.

Ленц тщательно изучил поведение сопротивлений, в частности исследовал вопросе существовании так называемого «переходного сопротивления» при переходе из твердого тела в жидкость. Это понятие вводилось некоторыми физиками в эпоху, когда закон Ома еще не был общепризнанным. Затем он перешел к основному эксперименту, результаты которого сформулировал в следующих двух положениях:

- «1. Нагревание проволоки гальваническим током пропорционально сопротивлению проволоки.
2. Нагревание проволоки гальваническим током пропорционально квадрату служащего для нагревания тока».

Точность и обстоятельность опытов Ленца обеспечили признание закона, вошедшего в науку под названием закона Джоуля – Ленца.

Джоуль сделал свои эксперименты по выделению тепла электрическим током исходным пунктом дальнейших исследований выяснения связи между теплотой и работой.

Уже на первых опытах он стал догадываться, что теплота, выделяемая в проволоке, соединяющей полюсы гальванической батареи, порождается химическими превращениями в

батареи, т. е. стал прозревать энергетический смысл закона. Чтобы выяснить далее вопрос о происхождении «джоулева тепла» (как теперь называется теплота, выделяемая электрическим током), он стал исследовать теплоту, выделяемую индуцированным током. В работе «О тепловом эффекте магнитоэлектричества и механическом эффекте теплоты», доложенной на собрании Британской Ассоциации в августе 1843 г., Джоуль сформулировал вывод, что теплоту можно создавать с помощью механической работы, используя магнитоэлектричество (электромагнитную индукцию), и эта теплота пропорциональна квадрату силы индукционного тока.

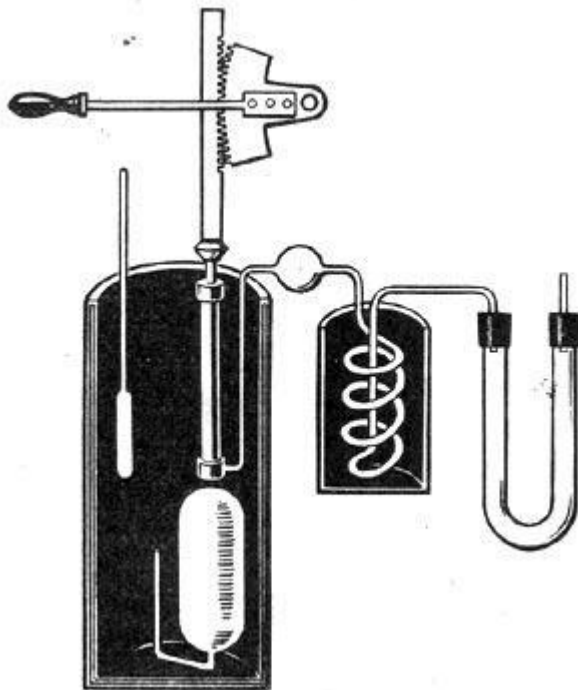


Рис. 41. Схема опыта Джоуля

Вращая электромагнит индукционной машины с помощью падающего груза, Джоуль определил соотношение между работой падающего груза и теплотой, выделяемой в цепи. Он нашел в качестве среднего результата из своих измерений, что «количество тепла, которое в состоянии нагреть один фунт воды на один градус Фаренгейта, может быть превращено в механическую силу, которая в состоянии поднять 838 фунтов на вертикальную высоту в один фут». Переводя единицы фунт и фут в килограммы и метры и градус Фаренгейта в градус Цельсия, найдем, что механический эквивалент тепла, вычисленный Джоулем, равен 460 кгс-м/ккал.

Этот вывод приводит Джоуля к другому, более общему выводу, который он обещает проверить в дальнейших экспериментах: «Могучие силы природы... неразрушимы, и... во всех случаях, когда затрачивается механическая сила, получается точное эквивалентное количество теплоты». Он утверждает, что животная теплота возникает в результате химических превращений в организме и что сами химические превращения являются результатом действия химических сил, возникающих из «падения атомов». Таким образом, в работе 1843 г. Джоуль приходит к тем же выводам, к которым ранее пришел Майер.

Сообщение Джоуля было встречено собранием Британской Ассоциации с недоверием. Джоулю не было еще 25 лет, когда он выступил с этими новыми революционными воззрениями. Однако Джоуль продолжал свои исследования и в 1845 г. опубликовал работу «Об изменениях температуры, вызванных сжатием и разрежением воздуха». Как и в работе 1843 г., экспериментальная установка помещалась в сосуд с водой, служивший калориметром. Установка состояла из нагнетательного насоса и сосуда с воздухом, подвергающимся сжатию. Воздух сжимался до 22 атмосфер, и измерялась выделяемая при

этом теплота.

Джоуль показал себя искусным и вдумчивым экспериментатором. Он принял меры для обеспечения постоянства температуры поступающего воздуха, учел поправки на теплоту, производимую трением, и установил, что механический эквивалент тепла в этом опыте равен 795 футо-фунтов на килокалорию (436 кгс*м/ккал). Затем Джоуль поместил в сосуд с водой два одинаковых сосуда, соединенные трубкой. В одном из сосудов воздух был сжат до 22 атмосфер, а из другого выкачан. Когда между обоими сосудами устанавливалось сообщение, измеряли температуру водяного резервуара. Она, как определил Джоуль, оставалась неизменной. Из этого часто описываемого в курсах термодинамики опыта Джоуль сделал вывод, что теплота не может быть веществом, она состоит в движении частиц тела. Из многочисленных опытов по нагреванию воздуха сжатием Джоуль нашел механический эквивалент теплоты равным 798 футо-фунтам на килокалорию (438 кгс*м/ккал).

Во второй работе 1845 г. и в работе 1847 г. Джоуль описывает многочисленные опыты с перемешиванием воды в калориметре. В 1850 г. он произвел новые классические опыты, из которых нашел значение механического эквивалента равным 424 кгс*м/ккал.

За опытами Джоуля с большим интересом следил молодой шотландский физик Вильям Томсон, будущий лорд Кельвин. Томсон еще в 1848 г. считал, что «превращение теплоты в механическую энергию, вероятно, невозможно и, безусловно, еще не открыто».

Кажется странным, что современник паровых машин, паровозов и пароходов говорит о невозможности превращения теплоты в механическую энергию, но у Томсона, видимо, речь идет о другом. Он пишет: «Такой вывод можно сделать исходя из всего, что написано на эту тему. Противоположная точка зрения выдвигается Джоулем из Манчестера, поставившим целый ряд в высшей степени интересных опытов по выделению теплоты при трении жидкостей; некоторые хорошо известные явления в области электромагнетизма, по-видимому, в самом деле указывают на переход механической энергии в тепловую, но опыты, при которых имело бы место обратное преобразование, им не проводились».

Томсон знал работу Карно, знал, что Карно стоял на точке зрения теплорода. Ему известно было также, что ни Джоуль, ни кто-либо другой не проводил опытов по превращению теплоты в работу без остатка. Так намечался подход к будущему второму началу термодинамики. Тем не менее Томсон уже тогда глубоко интересовался работами Джоуля и в пятидесятых годах XIX в. провел совместно с ним знаменитый эксперимент, приведший к открытию эффекта, носящего имя Джоуля – Томсона.

Джоуль продолжал свои эксперименты и в 60-х и в 70-х годах. В 1870 г. он вошел в состав комиссии по определению механического эквивалента теплоты. В состав этой комиссии входили В. Томсон, Максвелл и другие ученые. Но Джоуль не ограничился работой экспериментатора. Он решительно встал на точку зрения кинетической теории теплоты и стал одним из основоположников кинетической теории газов. Об этой работе Джоуля будет сказано позднее.

Как мы уже говорили, Майер считал Джоуля одним из открывателей закона сохранения и превращения энергии. Но тогда уже многие претендовали на приоритет в этом открытии. Датский инженер Людвиг Август Кольдинг доложил в 1843 г. в Королевском Копенгагенском обществе о результатах своих опытов по определению отношения между механической работой и теплотой, которое он нашел равным 350. Майер упоминает о Гольцмане, который в 1845 г. вычислил механический эквивалент теплоты тем же методом, что и Майер. Можно было бы назвать ряд других имен, в той или иной мере причастных к великому открытию. Все это лишний раз доказывает, что время для открытия закона назрело и что к его открытию приходили разными путями врачи, инженеры, заводчики. Вопреки воззрениям цеховых ученых это красноречиво говорит о том, что жизнь и ее запросы являются основными двигателями научного прогресса.

Джоуль умер 11 октября 1889 г., за пять лет до смерти третьего члена «триады» Германа Гельмгольца.

Гельмгольц. Гельмгольц был одним из самых знаменитых физиков второй половины XIX столетия, общепризнанным лидером физической науки.



Г. Гельмгольц

Герман Людвиг фердинанд Гельмгольц родился 31 августа 1821 г. в семье потсдамского учителя гимназии, в городе, бывшем резиденцией прусских королей, в том самом Потсдаме, где спустя 124 года после его рождения состоялась Потсдамская конференция, зафиксировавшая разгром фашистской Германии.

Гельмгольц получил медицинское образование, и его диссертация, защищенная им в 1842 г., была посвящена строению нервной системы. В этой работе двадцатидвухлетний врач впервые доказал существование целостных структурных элементов нервной ткани, получивших позднее название нейронов.

С 1843 г. начался служебный путь Гельмгольца в качестве потсдамского военного врача. Эскадронный хирург гусарского полка находил время и для занятия наукой. В 1845 г. он едет в Берлин для подготовки к государственным экзаменам на звание врача и здесь усердно занимается в домашней физической лаборатории Густава Магнуса.

Другим учителем Гельмгольца в Берлине был известный физиолог Иоганн Мюллер. В журнале Мюллера Гельмгольц опубликовал в 1845 г. работу «О расходовании вещества при действии мышц». В том же, 1845 г. молодые ученые, группировавшиеся вокруг Магнуса и Мюллера, образовали Берлинское физическое общество. В него вошел и Гельмгольц. С 1845 г. общество, превратившееся в дальнейшем в Немецкое физическое общество, стало издавать первый реферативный журнал «Успехи физики» («Fortschritte der Physik»).

Научное развитие Гельмгольца происходило, таким образом, в благоприятной обстановке возросшего интереса к естествознанию в Берлине. Уже в первом томе «Fortschritte der Physik in Jahre 1845», вышедшем в Берлине в 1847 г., был напечатан обзор, выполненный Гельмгольцем по теории физиологических тепловых явлений. 23 июля 1847 г. он сделал на заседании Берлинского физического общества доклад «О сохранении силы». Подобно Майеру, Гельмгольц от физиологии перешел к закону сохранения энергии. Так же, как и у Майера, Поггендорф не принял работу Гельмгольца, и она была опубликована отдельной брошюрой в 1847 г.

На чествовании Гельмгольца по случаю его 70-летия он произнес 2 ноября 1891 г. речь, в которой охарактеризовал свой научный путь. Он указал, что под влиянием Иоганна Мюллера заинтересовался вопросом о загадочной сущности жизненной силы. Сам Мюллер в этом вопросе колебался между метафизическим учением виталистов и естественнонаучным подходом. Размышляя над этой проблемой, Гельмгольц в последний год студенчества пришел к выводу, что теория жизненной силы «приписывает всякому живому телу свойства так называемого *perpetuum mobile*». Гельмгольц был знаком с проблемой *perpetuum mobile* со

школьных лет, а в студенческие годы «в свободные минуты... разыскивал и просматривал сочинения Даниила Бернулли, Даламбера и других математиков прошлого столетия». «Таким образом, я,— говорил Гельмгольц, — натолкнулся на вопрос: «Какие отношения должны существовать между различными силами природы, если принять, что *perpetuum mobile* вообще невозможен?» и далее: «Выполняются ли в действительности все эти отношения?» В моей книжке о сохранении силы я намеревался только дать критическую оценку и систематику фактов в интересах физиологов». Гельмгольц рассказывал, что авторитеты в то время не только не сочли его мысли известными, но, наоборот, «были склонны отвергать справедливость закона; среди той ревностной борьбы, какую они вели с натурфилософией Гегеля, и моя работа была сочтена за фантастическое умствование...». Однако в отличие от Майера Гельмгольц не был одинок, его поддержала научная молодежь, и прежде всего будущий знаменитый физиолог Дюбуа Реймон (1818–1896), и молодое Берлинское физическое общество. Что же касается отношения к работам Майера и Джоуля, то Гельмгольц неоднократно признавал приоритет Майера и Джоуля, подчеркивая, однако, что с работой Майера он не был знаком, а работы Джоуля знал недостаточно.

Обратимся к самой работе Гельмгольца. В отличие от своих предшественников он связывает закон с принципом невозможности вечного двигателя (*perpetuum mobile*). Этот принцип принимал еще Леонардо да Винчи, ученые XVII в. (вспомним, что Стевин обосновал закон наклонной плоскости невозможностью вечного движения), и, наконец, в XVIII в. Парижская Академия наук отказалась рассматривать проекты вечного двигателя. Гельмгольц считает принцип невозможности вечного двигателя тождественным принципу, что «все действия в природе можно свести на притягательные или отталкивательные силы». Материю Гельмгольц рассматривает как пассивную и неподвижную. Для того чтобы описать изменения, происходящие в мире, ее надо наделить силами как притягательными, так и отталкивательными. «...Явления природы, — пишет Гельмгольц, — должны быть сведены к движениям материи с неизменными движущими силами, которые зависят только от пространственных взаимоотношений».

Таким образом, мир, по Гельмгольцу, — это совокупность материальных точек, взаимодействующих друг с другом с центральными силами. Силы эти консервативны, и Гельмгольц во главу своего исследования ставит принцип сохранения живой силы Принцип Майера «из ничего ничего не бывает» Гельмгольц заменяет более конкретным положением, что «невозможно при существовании любой произвольной комбинации тел природы получать непрерывно из ничего движущую Силу». Этот принцип требует, чтобы «количество работы, которое получается, когда тела системы переходят из начального положения во второе, и количество работы, которое затрачивается, когда они переходят из второго положения в первое, всегда было одно и то же, каков бы ни был способ перехода, путь перехода или его скорость».

При этом мерой произведенной работы Гельмгольц считает половину про изведения $(mv)^2$. «Для лучшего согласования с употребительным в настоящее время способом измерения силы я предлагаю величину $1/2(mv)^2$ обозначить как количество живой силы, благодаря чему она будет тождественна по величине с величиной затраченной работы».

Таков важный шаг, сделанный Гельмгольцем, в развитии закона сохранения энергии.

Принцип сохранения живой силы в его формулировке гласит: «Если любое число подвижных материальных точек движется только под влиянием таких сил, которые зависят от взаимодействия точек друг на друга или которые направлены к неподвижным центрам, то сумма живых сил всех взятых вместе точек останется одна и та же во все моменты времени, в которые все точки получают те же самые относительные положения друг по отношению к другу и по отношению к существующим неподвижным центрам, каковы бы ни были их траектории и скорости в промежутках между соответствующими моментами». Гельмгольц выражает этот принцип математически формулой:

$$\frac{1}{2}mQ^2 - \frac{1}{2}mq^2 = - \int_r^R \varphi dr,$$

где Q и q - скорости в положениях R и r, Φ - «величина силы, которая действует по направлению r» и «считается положительной, если имеется притяжение, и отрицательной, если наблюдается отталкивание...».

Величину, выражаемую интегралом $\int \varphi dr$, Гельмгольц называет «суммой напряженных сил между расстояниями R и r», и закон сохранения энергии получает следующую формулировку: «увеличение живой силы точки при ее движении под влиянием центральной силы равно сумме соответствующих изменению ее расстояния напряженных сил». Сегодня мы вместо «увеличение живой силы» говорим «приращение кинетической энергии» и вместо «сумма напряженных сил» – «убыль потенциальной энергии».

Переходя к системе точек, Гельмгольц устанавливает общее положение: «Всегда сумма существующих в системе напряженных сил и живых сил постоянна». «В этой наиболее общей форме, – пишет Гельмгольц, – мы можем наш закон назвать принципом сохранения силы».

Сформулировав этот принцип, Гельмгольц рассматривает его применения в различных частных случаях. Он указывает, что сохранение живых сил уже применялось в таких случаях, как движения, происходящие под влиянием силы всемирного тяготения, в явлениях передачи движений при посредстве несжимаемых твердых и жидких тел, в движениях вполне упругих твердых и жидких тел. Остановившись, в частности, на явлениях интерференции волн, распространяющихся в упругой среде, Гельмгольц показывает, что при интерференции «не имеется никакого уничтожения живой силы, а лишь только иное распределение ее».

Рассматривая электрические явления, Гельмгольц находит выражение энергии точечных зарядов и показывает физическое значение функции, названной Гауссом потенциалом. Далее он вычисляет энергию системы заряженных проводников и показывает, что при разряде лейденских банок выделяется теплота, эквивалентная запасенной электрической энергии. Он показал при этом, что разряд является колебательным процессом и электрические колебания «делаются все меньше и меньше, пока, наконец, вся живая сила не будет уничтожена суммой сопротивлений».

Затем Гельмгольц рассматривает гальванизм. Он указывает, что количество теплоты, выделяемое в металлическом проводнике с сопротивлением w в течение времени t , «равно, по Ленцу»,

$$v = I^2 wt,$$

и показывает, что это соответствует работе электрических сил. Гельмгольц разбирает энергетические процессы в гальванических источниках, в термоэлектрических явлениях, положив начало будущей термодинамической теории этих явлений. Рассматривая магнетизм и электромагнетизм, Гельмгольц, в частности, дает свой известный вывод выражения электродвижущей силы индукции, исходя из исследований Неймана и опираясь на закон Ленца.

В своем сочинении Гельмгольц в отличие от Майера уделяет главное внимание физике и лишь очень бегло и сжато говорит о биологических явлениях. Тем не менее именно это сочинение открыло Гельмгольцу дорогу к кафедре физиологии и общей патологии медицинского факультета Кенигсбергского университета, где он в 1849 г. получил должность экстраординарного профессора. Эту должность Гельмгольц занимал до 1855 г., когда он перешел профессором анатомии и физиологии в Бонн. В 1858 г. Гельмгольц

становится профессором физиологии в Гейдельберге. В Гейдельберге Гельмгольц много и успешно занимался физиологией зрения. Эти исследования существенно обогатили область знания и практическую медицину. Итогом этих исследований явилась знаменитая «физиологическая оптика» Гельмгольца, первый выпуск которой вышел в 1856, второй – в 1860, третий – в 1867 г.

Здесь же, в Гейдельберге, Гельмгольц проводил свои классические исследования по скорости распространения нервного возбуждения, по акустике. Его книга «Учение о звуковых ощущениях как физиологическая основа акустики» вышла в 1863 г. Наконец, в Гейдельберге вышли его классические работы по гидродинамике и основаниям геометрии.

С марта 1871 г. Гельмгольц становится профессором Берлинского университета. Он создает физический институт, в который приезжали работать физики всего мира, принимает активное участие в организации Государственного физико-технического института – центра немецкой метрологии, первым президентом которого он становится. Умер Гельмгольц 8 сентября 1894 г.

Разными путями шли открыватели закона сохранения и превращения энергии к его установлению. Майер, начав с медицинского наблюдения, сразу рассматривал его как глубокий всеобъемлющий закон и раскрывал цепь энергетических превращений от космоса до живого организма. Джоуль упорно и настойчиво измерял количественное соотношение теплоты и механической работы. Гельмгольц связал закон с исследованиями великих механиков XVIII в.

Идя разными путями, они наряду со многими другими современниками настойчиво боролись за утверждение и признание закона вопреки противодействию цеховых ученых. Борьба была нелегкой и порой принимала трагический характер, но она окончилась полной победой. Наука получила в свое распоряжение великий закон сохранения и превращения энергии.

Создание лабораторий

Вторая половина XIX в. отмечается важными изменениями в организации подготовки физиков. В это время сначала в Европе, а затем в Америке создаются физические лаборатории. В некоторых из лабораторий зарождаются научные школы.

В прошлом физик работал в одиночку. Приборы обычно покупались на собственные деньги или изготовлялись самими учеными. Нередко лабораториями служили частные комнаты. Опыты по разложению белого света Ньютон проделал в своей квартире в Кембридже. Вспомним, что физическим прибором ему служила призма, купленная на собственные деньги. Через сто пятьдесят лет в той же обстановке Стоке проводил свои оптические исследования. Рихман и Ломоносов исследовали атмосферное электричество с «громовыми машинами», построенными каждым у себя на квартире. Франклин для исследования атмосферного электричества соорудил в своем доме в Филадельфии железный изолированный стержень. Джоуль свои эксперименты по определению механического эквивалента теплоты проводил дома в Манчестере.

«Лабораторией Гей-Люссаку служило сырое полуподвальное помещение. Ученый, предохраняясь от сырости..., работал в деревянных башмаках». Френель в селе Матье близ Канна, в доме матери, проводил исследования по дифракции с примитивными приборами и приспособлениями, сделанными для него сельским слесарем. Фуко экспериментировал в своем доме. Лаборатория Royal Institution, где работали Дэви, Фарадей и Тиндаль (1820–1893), открытая в 1803 г., как вспоминал Тиндаль, «плохо вентилировалась, плохо освещалась и была совершенно неподходящей для ежедневной многочасовой работы. Это, вероятно, наихудшая лаборатория во всем Лондоне». И эта лаборатория оставалась почти 70 лет в первоначальном состоянии. Конечно, она не служила целям обучения экспериментальному искусству, вся аппаратура, которая в ней была, служила в основном целям исследователей-одиночек или только лекционным целям. Здесь Фарадей в своих

исследованиях обходился мотками проволоки, кусками железа, магнитными стрелками. Причем все эти люди, подобно Максвеллу и Кельвину, не проходили какого-либо курса обучения практической физике. Его просто тогда не было. В тогдашних университетах преподавание велось в классическом духе, основное внимание уделялось гуманитарным и математическим наукам, физике отводилось мало места. Так, в Кембриджском университете до 70-х годов из физики читались только оптика, гидростатика, механика. Трипос (экзамен для соискателей ученой степени) включал в себя в основном математические науки.

В Германии до 40-х годов XIX столетия делалось существенное различие между учреждением для учебных целей и учреждением для научных исследований. Так, в протоколе Тайного Совета от 22 июля 1807 г. правительство разъясняет университету, что «изобретение в научной области является делом ученых, а не делом учителей, которые как таковые, подобно судье, должны принимать во внимание не составление законов, а выполнение данных законов».

Такое же положение было и в университетах России, где считалось, что главная задача преподавателя – читать лекции, а занятия наукой – вещь второстепенная и необязательная.

В американских колледжах и университетах обучение сводилось к чтению лекций и штудированию учебников, а «лекционные демонстрации скорее создавали внешний блестящий эффект и не служили своим истинным целям».

В середине XIX столетия бурное развитие промышленности, машиностроения, химической промышленности, металлургии и горного дела, электротехники, теплотехники, строительство железных дорог, возникновение пароводоства и воздухоплавания – все это стимулировало развитие науки, новых форм ее организации. Все более усиливалась связь науки и техники.

Так, в решении задач, связанных с прокладкой трансатлантического кабеля между Европой и Америкой, принимал участие Вильям Томсон. Эта грандиозная техническая задача была успешно решена в 1866 г. благодаря союзу ученых и техников.

Вспомним лабораторию Реньо на Севрском фарфоровом заводе, созданную для исследований, которые были важны для развития тепловых машин.

В свою очередь техника дает науке все более мощные средства познания тайн природы. Совершенствование воздушных насосов позволило получить такой вакуум, что сделало возможным опыты и измерения, которые раньше были неосуществимы. «При таких давлениях мы можем изучать свойства отдельных молекул, – писал Дж. Дж. Томсон, – в то время как при более высоких мы можем только изучать их поведение в плотной толпе...»

К этому времени значительно усложнилась физическая теория и эксперимент. Новые задачи, стоящие перед физической наукой, требовали для своего решения все большего числа физиков.

Итак, в новых условиях необходимо было предусмотреть новые формы и темпы подготовки ученых. Старые образовательные учреждения были не в состоянии выполнить эту роль, перестройка их была необходима.

И с сороковых годов XIX столетия начинают создаваться физически лаборатории как новая форма организации коллективных методов исследования в физике.

Лидерство в перевооружении физики заняла Германия, которая с 40-х годов переживала национальный и культурный подъем. Из феодальной страны Германия превращалась в капиталистическую империю, разгромившую Австрию и Францию, сплотившую под эгидой Пруссии княжества раздробленной со времен реформации страны.

Первая физическая лаборатория была создана в Геттингенском университете В. Вебером, который был приглашен туда в 1831 г. Гауссом. Вебер привлек студентов к подготовке лекционных опытов. Наиболее способным он предложил небольшие физические исследования. Позднее он ввел практические занятия для желающих. В 1837 г. Вебер был вынужден покинуть университет, протестуя в числе других профессоров университета против нарушения королем Эрнстом-Августом Ганноверской конституции. Руководство физическим отделом университета было передано Листингу. При нем научная и

педагогическая деятельность заметно упала, но зато произошло некоторое увеличение площади, занятой под физический отдел. В 1849 г. Вебер возвратился в Гет-тинген, где вновь начался подъем научно-педагогической деятельности физического отдела университета.

При Вебере происходит деление физического отдела на кафедры экспериментальной и теоретической физики. Первой заведовал Вебер, второй – Листинг. Цели и задачи обеих кафедр были одинаковы, разница заключалась лишь в том, что Вебер читал экспериментальную физику, а Листинг – теоретическую.

Помещения физического отдела университета были тогда очень малы. В лаборатории Вебер проводил работы в области геомагнетизма и гальванизма, электрических колебаний, совместно с Рудольфом Кольраушем (1809– 1858) он определил отношение электростатических и магнитных единиц. В лаборатории Вебера работали ученые из различных стран мира. Здесь работал наш замечательный физик А. Г. Столетов, английский ученый Артур Шустер (1851-1934) и др.

Новый поворот в развитии физического отдела Геттингена был связан с приходом в него в качестве экстраординарного профессора физики сына Рудольфа Кольрауша – Фридриха Кольрауша (1840-1910), ученика Вебера. Ему было поручено устройство физического практикума и руководство им. Свой богатый опыт педагогической деятельности в Геттингене Кольрауш обобщил в книге, ставшей всемирно известным первым пособием по практической физике.

Итак, в Геттингенском университете Вебером была создана одна из первых физических лабораторий, в которой в основном проводились исследования в области электромагнетизма. Вскоре маленькая лаборатория была расширена и превратилась в физический институт. Здесь появился первый учебник по практической физике, с выходом которого практические занятия по физике начали распространяться по всем университетам и политехническим институтам мира. Впоследствии физический институт так разросся, что дал начало пяти новым подотделам института, в которых работали многие известные ученые, такие, как Нернст (1864–1941), Вихерт (1861-1928), Клейн (1849-1925), Рикке (1845–1915) и др., было подготовлено много ученых не только из Германии, но и из других стран мира.

В 40-х годах в Берлине университетский профессор Генрих Густав Магнус оборудовал несколько комнат в своем доме под физическую лабораторию и принимал студентов для работы в ней. Университет оплачивал расходы по содержанию лаборатории.

Лаборатория Магнуса была устроена со всеми возможными в частном доме удобствами. У Магнуса учились молодые исследователи не только из Германии, но и из Америки, Англии, России: Видеман (1826-1899), Варбург (1846-1931), Тиндаль, Гиббс, А.Г.Столетов, М. П.Авенариус и др. Тематика исследований у Магнуса была самой разнообразной. Гельмгольд, например, изучал процессы гниения и брожения; Кундт исследовал распространение звука в твердых телах. В 1843 г. Магнус положил начало физическим коллоквиумам.

Ошибочно было бы считать, что лаборатория Магнуса была единственной частной физической лабораторией при Берлинском университете. Почти каждый профессор физики Берлинского университета имел в своей квартире лабораторию, где студенты выполняли практические работы. Так, профессор Эрман (1806–1877) имел в своей квартире лабораторию, где студенты могли производить магнитные наблюдения. Лекционный курс профессора Квинке (1834–1924) дополнялся практическими занятиями, проводившимися у него на дому. Но лаборатория Магнуса имела наибольшую известность как в Германии, так и за рубежом.

В лабораторию Магнуса приходило все больше и больше учеников. Многим приходилось отказываться из-за недостатка помещений. В 1863 г. лабораторию переносят в здание университета. Она становится не частной, а государственной лабораторией, достигнув своего расцвета при знаменитом преемнике Магнуса – Гельмгольце.

В отличие от Магнуса ф. Нейман в созданной им в Кенигсберге лаборатории умело

сочетал экспериментальную и теоретическую физику. При создании лаборатории Нейман столкнулся с немалыми трудностями. Он обращался к официальным властям с просьбой финансировать физическую лабораторию в дополнение к его семинару по математической физике. Официальные власти отказали, и в 40-х годах Нейман организовал лабораторию на собственные средства. Учеников у Неймана было меньше, чем у Магнуса. Они, прежде чем перейти к экспериментам, проходили большую теоретическую подготовку по механике и математической физике. Среди великих его учеников был Густав Роберт Кирхгоф.

Впоследствии Кирхгоф сам становится руководителем физической лаборатории в Гейдельберге, сменив на этом посту Ф. Г. Жолли (1809-1884).

Жолли создал лабораторию в двух небольших частных комнатах в 1846 г. В лаборатории Жолли Кирхгоф и Бунзен провели исследования, приведшие к открытию спектрального анализа.

В лаборатории Кирхгофа был создан один из лучших курсов экспериментальной физики, привлекавший учеников из различных стран мира. Этот курс расширил преемник Кирхгофа Квинке.

В новом Страсбургском университете, основанном в 1872 г., уже заранее было предусмотрено строительство физического института. Его директор Кундт создал очень удобный для обучения и исследования институт, который долго служил прототипом для многих институтов, аудиторий, лабораторий различных стран. Здесь под руководством Кундта была подготовлена плеяда тонких экспериментаторов, таких, как рентген, Лебедев, Пашен, Рубенс, Винер, Голицын и др.

Вслед за Страсбургским институтом в 1875 г. создаются физические институты в Лейпциге, Мюнхене, Бонне, Бреслау, Фрайбурге и других городах.

Вскоре каждый немецкий университет обзавелся хорошо оборудованной физической лабораторией. Создание лабораторий повлекло за собой развитие старых и основание новых мастерских физических приборов.

В 70-х годах XIX в. Великобритания, ведущая капиталистическая держава мира, начала терять былое могущество и отставать от своих более молодых соперниц – Германии и США. Это отставание сказалось и на темпах строительства лабораторий.

Среди пионеров экспериментального обучения в Великобритании были профессор В. Томсон (Кельвин), Клифтон, Фостер, Адаме, Б. Стюарт.

В 1846 г. 22-летний Томсон занял пост профессора натурфилософии в университете Глазго. Для проведения серии экспериментов по электродинамике он пригласил себе в помощь нескольких студентов. До 1870 г. лабораторией Томсону и его студентам служили старые лекционные комнаты и заброшенный винный подвал, а после переезда университета в новое здание в 1870 г. Томсону были предоставлены просторные помещения для экспериментальной работы. Мы еще вернемся к лаборатории В. Томсона, Гельмгольца и других. А пока продолжим рассказ о создании физических лабораторий.

В Оксфорде в 1867 г. в небольшой комнате, выделенной университетом, профессор Клифтон начал обучение экспериментальной физике. В 1872 г. вступила в строй спланированная Клифтоном Кларендонская лаборатория. Она послужила прототипом для многих лабораторий мира. Д. К. Максвелл посетил ее, когда планировал Кавендишскую лабораторию в Кембридже.

В октябре 1867 г. профессор К. Фостер в университетском колледже в Лондоне в небольшой комнате также начал занятия по экспериментальной физике. Он писал: «Я убежден, что не может быть нормального обучения физике отдельно от практической работы, студенты должны иметь личное знакомство с явлением до того, как они смогут с пользой рассуждать о нем». Мысль Фостера об обязательном практическом обучении для всех студентов была претворена В. Адамсом в Кинг-колледже.

В 1871 г. в Оуэн-колледже (Манчестер) занятия в физической лаборатории начали проводиться под руководством Бальфура Стюарта. У него учились искусству экспериментировать известный английский физик А. Шустер и знаменитый Дж. Дж. Томсон,

открывший электрон. Вначале экспериментальная работа проводилась в нескольких маленьких комнатах с немногочисленной аппаратурой, а с 1898 г. было выстроено новое здание лаборатории, оборудованное лучшей аппаратурой того времени.

В Кембридже обучение экспериментальному искусству начало проводиться с 1874 г. в здании знаменитой Кавендишской лаборатории. Она была выстроена на частные средства и сыграла огромную роль в развитии физики. Достаточно сказать, что ее руководителями были в разное время Максвелл, Рэлей, Дж. Дж. Томсон, Резерфорд.

Из всех английских лабораторий систематическое обучение было только в Кинг-колледже.

С гораздо большим размахом систематическое лабораторное обучение было введено в 1869 г. в Массачусетском институте технологии в Бостоне профессором Э. С. Пикерингом. Основателем Массачусетского института технологии был В. Б. Роджерс. Он признавал важность новых образовательных учреждений в условиях экономического роста страны, освоения-Запада, роста индустрии, транспорта, сельского хозяйства. Роджерс придавал большое значение обучению в лабораториях.

При организации лабораторных занятий главной трудностью, с которой столкнулся Пикеринг, было «дать возможность двадцати или тридцати студентам одновременно выполнять эксперименты без дублирования аппаратуры и предотвратить опасность повреждения тонкой аппаратуры». Эти трудности были успешно преодолены. В США обучение практической физике в технических учебных заведениях было поставлено лучше, чем в колледжах и университетах. Так, до 1871 г. Гарвард-колледж не имел приборов для технических измерений. «Большинство лабораторий в этой стране были выстроены и оборудованы за последние пятнадцать лет» (имеется в виду примерно 1895–1910 гг. – С. К.), – писал американский историк науки ф. Кэджори.

франко-прусская война подорвала экономическое могущество франции, уступавшей по объему промышленного производства только Англии. Это не могло не сказаться и на развитии науки. Мы уже рассказывали об одной из первых лабораторий во франции – Севрской лаборатории Реньо для термодинамических исследований.

Но Реньо во франции был в особых условиях. Он занимался вопросами термодинамики, так как промышленность остро нуждалась в более совершенных тепловых машинах. Этим и объясняется то, что ему были созданы хорошие условия для исследовательской работы. Вообще же французские ученые выражали неудовольствие отсутствием лабораторий и средств для проведения исследований.

31 июля 1868 г. французским Министерством образования было выпущено два декрета, утверждающих необходимость проведения практических занятий и создания лабораторий для студентов и специальных лабораторий для научных исследований.

В этом же году профессор Жамен (1818–1886) открыл лабораторию в Сорбонне. До самой смерти он был главой этой лаборатории. Профессор Адаме, посетивший францию в 1868 г., нашел, «что единственной лабораторией, где велось систематическое обучение практической физике, была лаборатория Жамена в Сорбонне, где студенты уже занимались определением физических констант и где аппаратура была только та, которую использовал профессор в собственных исследованиях». Под руководством Жамена в лаборатории работало несколько русских и румынских физиков. В 1894 г. она была передана новому «факультету науки» и реконструирована. Ее директором был назначен Липпман (1845–1921). Лаборатория стала знаменитой благодаря его исследованиям, приведшим к открытию цветной фотографии.

И все же, несмотря на то что франция вслед за Германией и Англией начала обучение экспериментальной физике, она в значительной мере отставала в этом деле от передовых стран. Лабораторий во франции было мало, средства, отпускавшиеся на нужды экспериментальных исследований, были очень скудны, действующие лаборатории были так переполнены, что там не оставалось места для исследовательской работы, физическую науку во франции развивали лишь гениальные исследователи-одиночки.

Так, Де Метц, посетивший многие лаборатории Европы и работавший в Сорбонне в 1886 г., писал: «...между инструментами и приспособлениями физических лабораторий Сорбонны я ничего не видел нового, в особенности интересного, если не считать абсолютного электрометра Пеллата... Такое явление обуславливается скудностью отпускаемых сумм... Общее впечатление, произведенное на меня физическими лабораториями Сорбонны, было не в пользу последней. Ничего крупного, ничего выдающегося!.. В современном своем состоянии физические лаборатории при Сорбонне не могут быть поставлены наряду с лучшими учреждениями этого рода в Европе».

Мария Склодовская-Кюри, учившаяся в Сорбонне с 1891 г., прошла курс практического обучения по физике, но первое свое исследование по определению магнитных свойств металлов она не смогла провести в перегруженных лабораториях Сорбонны.

С.И.Вавилов писал о положении науки во Франции в период французской революции: «Музей и Политехническая школа больше не готовят ученых будущего, как они это делали раньше, научное исследование в загоне и находится в вопиющих материальных условиях. За 30 лет Германия покрылась сетью богатых лабораторий, и каждый день появляются новые. А Франция? Франция еще не взялась за дело. У нее отсутствует предусмотрительность. Она покоится в тени своих старых трофеев».

Отмена крепостного права разорвала путы, сковывавшие развитие капитализма в России. После падения крепостного права темпы развития промышленности в России начинают возрастать. И все же экономическая отсталость России сказалась и на отставании ее в деле создания физических лабораторий.

Для русских физиков местом деятельности служили физические кабинеты. Здесь хранилась аппаратура, которую применяли на лекционных демонстрациях, и проводились единичные экспериментальные исследования. В России были ученые, понимавшие важность практического обучения. Так, В.В.Петров в 1795 г. организовал первый физический кабинет при Медико-хирургической академии. Его желание организовать научно-исследовательскую работу для студентов, превратить кабинет в лабораторию не осуществилось.

Э.Х. Ленц в 40-х годах XIX в. пытался преобразовать физический кабинет Академии наук в физическую лабораторию, привлекая молодых исследователей для работы в нем. Но учеников у Ленца было немного, кроме того, после смерти Ленца исследовательская деятельность в физическом кабинете Академии наук затухла. Но дело, начатое Ленцем, не пропало бесследно. Его ученики, продолжая традиции своего учителя, организовывали физические лаборатории в различных высших учебных заведениях.

Первая лаборатория в России создается при Петербургском университете Ф. Ф. Петрушевским (1828-1904) в 1865 г.

В первые пять лет число работающих в ней не превышало десяти человек; в 1870 их было 18, в 1875 - уже 76, а в 1878 - 115. Надо отметить, что введение Петрушевским лабораторного практикума в университете шло в одно время с введением подобного практикума за границей.

Лаборатория испытывала большие трудности из-за недостатка помещения, приборов и средств, отпускаемых на ее нужды.

Петрушевский и его ученик И.И.Боргман (1849-1914) боролись за создание физической лаборатории, отвечающей современным требованиям. Благодаря их хлопотам средства на постройку нового здания физического института были отпущены, и 9 сентября 1901 г. физический институт был открыт.

В новом помещении появилась возможность значительно расширить физический практикум и также проводить многочисленные физические исследования.

В лаборатории Петрушевского было подготовлено много известных русских ученых и педагогов. Учениками Петрушевского были А.С.Попов, И.И. Боргман, Н. Г. Егоров (1849-1919), В. К. Лебединский (1868-1937), Н.П.Слугинов (1854-1897) и ряд других замечательных русских и советских физиков. Ученики лаборатории распространили практические занятия по физике в большей части России.

В 1867 г. Д.А. Лачинов (1842-1902) создает физическую лабораторию в Петербургском земледельческом институте. В 70-х годах М.П. Авенариус организывает физическую лабораторию в Киевском университете, а А. Г. Столетов – в Московском университете. В лаборатории Московского университета был выполнен ряд замечательных работ, сыгравших большую роль в развитии физики, и подготовлено много способных учеников, занявших впоследствии посты заведующих кафедрами физики многих университетов России (Р.А.Колли, Н.Н.Шиллер, П.А.Зилов, Н.П.Кастерин, Д. А. Гольдгаммер, В. А Михельсон).

Столетов провел в своей лаборатории актиноэлектрические исследования, принесшие ему мировую славу. Он привлек в лабораторию П. Н.Лебедева, впоследствии создавшего замечательную школу русских физиков, прославившего родную науку исследованиями светового давления.

После смерти Столетова заведующим физическим кабинетом был избран Н.А.Умов. Понимая важность создания физического института – не воплощенной при жизни мечты Столетова, Умов прилагает много энергии для претворения ее в жизнь. Над созданием проекта института работала комиссия во главе с Умовым, в которую входили П.Н.Лебедев и А.П.Соколов. Институт был выстроен в 1903 г. Именно в стенах этого института достигла своего расцвета школа физики П. Н.Лебедева.

Итак, одновременно с лабораториями за границей в России появились физические лаборатории в Петербургском и Московском университетах. Но экономическая отсталость России, реакционность правительства мешали развитию лабораторий. Мизерность отпускаемых на нужды лабораторий средств, недооценка важности научных исследований вынуждали руководителей физических лабораторий вести постоянную борьбу за каждую комнату для экспериментальной работы, за каждый прибор, за каждого ученика, что отнимало много времени и сил.

И все же в таких условиях передовые русские физики Ф. Ф. Петрушевский, Д.А.Лачинов, М.П.Авенариус, Н.А.УМОВ, А.Г.Столетов, П.Н.Лебедев обогатили не только русскую науку, но и внесли фундаментальный вклад в развитие физики.

Второе начало термодинамики

Прогресс теплотехники не только стимулировал открытие закона сохранения и превращения энергии, но и двинул вперед теоретическое изучение тепловых явлений. Уточнялись основные понятия, создавалась аксиоматика теории теплоты, разрабатывались математические методы. Ведущую роль в основании теории тепловых явлений сыграли Р. Клаузиус, В. Томсон и другие ученые.

Р. Клаузиус



Рудольф Клаузиус родился 2 января 1822 г. в г. Кёслине. По окончании университетского курса в Берлине он был преподавателем в Артиллерийской школе. С 1855 г. он стал профессором в Высшей политехнической школе в Цюрихе, а затем в Цюрихском университете. С 1869 г. он переехал в Бонн, где и умер 24 августа 1888 г.

Статьи Клаузиуса по механической теории теплоты были изданы в 1867 г. В 1879-1891 гг. вышло второе, переработанное и дополненное, издание этой книги под заглавием «Die mechanische Wärmetheorie» в трех томах. Второй том книги был посвящен механической теории электричества, третий – кинетической теории газов.

Первая статья Клаузиуса «О движущей силе теплоты» появилась в 1850 г. В ней он разбирает работу Карно (вслед за В. Томсоном) и, отказываясь от его концепции неуничтожаемости теплоты, считает, что надо сохранить основную часть его положения в виде нового принципа – второго начала, который Клаузиус формулирует следующим образом: «Теплота не может переходить сама собой от более холодного тела к более теплому». Клаузиус неоднократно в своих статьях разъяснял смысл выражения «сама собой». «Появляющиеся слова «сама собой», – писал он в «Статьях по механической теории тепла», – требуют, чтобы были вполне понятными, еще объяснения, которое дано мною в различных местах моих работ». Теплота в ряде процессов может перейти от холодного тела к теплому, но «тогда одновременно с этим переходом от более холодного к более теплому телу должен иметь место и противоположный переход теплоты от более теплого к более холодному, либо должно произойти какое-либо другое изменение, обладающее той особенностью, что оно не может быть обращено без того, чтобы не вызвать с своей стороны, посредственно или непосредственно, такой противоположный переход теплоты». Клаузиус указывает, что такой противоположный процесс должен рассматриваться «как компенсация перехода теплоты от более холодного тела к более теплому», и дает новую формулировку принципа: «Переход теплоты от более холодного тела к более теплому не может иметь место без компенсации».

«Это предположение, выставленное мною в качестве принципа, – пишет Клаузиус в своем обобщающем труде, – встретило много возражений, и мне пришлось его неоднократно защищать». В борьбе за утверждение нового принципа большую роль сыграл английский физик Вильям Томсон.



Вильям Томсон родился 26 июня 1824 г. в Белфасте в семье преподавателя математики. Когда Вильяму было восемь лет, семья переехала в Глазго, который стал впоследствии местом жизни и труда знаменитого физика. Одаренный мальчикуже в десятилетнем возрасте стал студентом Глазговского университета. Вскоре юный студент опубликовал свою первую работу по теории теплопроводности. Двадцати двух лет Томсон становится профессором в Глазго и занимает кафедру до 1899 г., в течение пятидесяти трех лет.

Заняв пост профессора натурфилософии университета и ознакомившись с положением дел на кафедре, Томсон нашел его неудовлетворительным. Старомодная аппаратура, большая часть которой столетней давности, остальная – пятидесятилетней. Такими приборами пользовались для лекционной демонстрации.

«...Здесь абсолютно не было обеспечено какого-либо рода экспериментальных исследований и совсем не было идей даже для какой-нибудь студенческой практической работы».

Вскоре Томсон в Глазго предпринял серию экспериментов по электродинамическим свойствам материи. В помощь себе он пригласил нескольких студентов. Приглашенные добровольцы с энтузиазмом принялись за работу. Другие студенты, узнав, что их товарищи предприняли экспериментальные исследования, захотели участвовать в этом.

«Я не мог дать им всем работу, в особенности в исследовании, с которого я начал, – «Электрическая конвекция тепла», – вспоминает В.Томсон, – но я делал все, что в моих силах, чтобы найти им работу по смежным темам – электродинамические свойства металлов, модуль упругости металлов, атмосферное электричество».

Вначале администрация университета предоставила исследователям старые лекционные комнаты и препараторские, примыкающие к ним. Но для добровольцев, число которых на первых порах колебалось от пяти до двадцати, этого было явно мало, и пришлось отвести под лабораторию еще и старый заброшенный винный подвал и часть старого профессорского дома, другая часть которого служила лекционными аудиториями. Через несколько лет в университете Глазго был упразднен один экзамен, и комната, предназначенная для него, перешла в распоряжение В.Томсона. Вот такие комнаты служили В. Томсону физическими лабораториями до 1870 г.

Поражает энтузиазм, с которым работали студенты у В.Томсона. Как он вспоминал, некоторые студенты так усердно работали, что ему приходилось вмешиваться, беспокоясь об их здоровье. Обучение в лаборатории было совершенно новым делом. Студенты, тогда посещавшие кафедру натурфилософии, готовились стать юристами, медиками, но в

основном духовными лицами. Натурфилософия для них была одним из предметов для получения степени, но это был теоретический экзамен, и никаких практических знаний он не требовал.

«Студенты, – замечает В. Томсон, – вначале приходили в лабораторию в надежде приятно провести время... и они не были разочарованы». Вскоре лаборатория стала пополняться приборами, выписанными не только из-за границы, но и сделанными университетской фирмой «Джеймс Уайт». Дж. Уайт, основатель фирмы, начал дело в Глазго в 1849 г. Все приборы, изобретенные самим В. Томсоном, изготавливались этой фирмой.

В 1870 г. университет переехал в новое великолепное здание, в котором были предусмотрены просторные помещения для исследований.

Кафедра и дом Томсона первыми в Британии освещались электричеством. Между университетом и мастерскими Уайта действовала первая в стране телефонная линия. Мастерские разрослись в фабрику в несколько этажей, по существу ставшую филиалом кельвинской лаборатории. В. Томсон часто заходил в мастерские и обсуждал с Уайтом конструкцию будущего прибора. Вообще Томсон был очень привязан к своему университету в Глазго. Ему предлагали более высокие посты, такие, как главы Кавендишской лаборатории, ректора Эдинбургского университета, но он отказывался. В. Томсон старался не терять связь с лабораторией, где бы он ни был, «почтой и телеграфом он постоянно был связан с ней, получая результаты исследований и продолжая руководить лабораторией и на расстоянии».

В. Томсон обладал большим педагогическим талантом. Он прекрасно сочетал теоретическое и практическое обучение. Пять дней в неделю он читал по две лекции: одну – по физике, другую – по математической физике.

Лекции по физике сопровождались демонстрациями. К проведению демонстраций Томсон привлекал студентов. Такие лекции и обилие демонстраций, сопровождавших их, стимулировали интерес слушателей.

В. Томсон был сторонником экспериментального обучения для всех студентов университета. Три четверти его студентов становились теологами. Как говорил Томсон, «они определенно учились терпению и настойчивости, если не большой науке». Из лаборатории выходили и такие, которые, став духовными лицами, не прекратили занятия физической наукой.

Так, Джон Керр (1824-1907) был студентом кафедры натурфилософии, когда туда двадцатидвухлетним профессором пришел Томсон. Керр был одним из добровольцев Томсона, помогая ему в сооружении физической лаборатории, и стал его другом на всю жизнь. Впоследствии Керр стал священником одной из церквей Шотландии, но интерес к науке не потерял до конца жизни и сменил карьеру священника на карьеру ученого-педагога.

Имя его вошло в историю науки благодаря открытию им в 1875 г. электрооптического эффекта.

Лабораторией Томсона было сделано много оригинальных научных исследований, и она сыграла большую роль в физической науке. Соавтор Томсона по «Трактату по натуральной философии» П. Г. Тэт, профессор Эдинбургского университета, оборудовавший в 1868 г. схожую лабораторию, писал: «В Глазго, при обстоятельствах более неблагоприятных, чем те, которые я представляю, студенты сэра В. Томсона уже несколько лет делают превосходные работы и снабжаются своим выдающимся учителем экспериментальной основой для более чем одного замечательного исследования».

В 1892 г. Томсону за его большие научные заслуги был присвоен титул лорда Кельвина (по имени реки Кельвин, протекающей вблизи университета в г. Глазго).

Томсон написал огромное количество работ по экспериментальной и теоретической физике. Пятидесятилетний юбилей его научной деятельности в 1896 г. отмечали физики всего мира. В чествовании Томсона участвовали представители разных стран, в том числе русский физик Н. А. Умов. Томсон умер 17 декабря 1907 г.

Как мы уже говорили, Томсону наряду с Клаузиусом принадлежит заслуга в обосновании второго закона термодинамики. Мы видели, что еще в 1848 г. он сомневался в

справедливости закона сохранения энергии, так как в тепловых машинах теплота не полностью переходит в работу (это было показано еще Карно). Работа Карно подсказала

Томсону важную мысль о введении температурной шкалы, не зависящей от выбора термометрического тела, – абсолютной шкалы температур. Эта «шкала Кельвина» основана на процессе Карно, который, как известно, носит абсолютный характер, не зависящий от выбора рабочего вещества и характера процессов, применяемых в цикле. Введение «шкалы Кельвина» представляет первый существенный вклад Томсона в термодинамику (1848).

17 марта, 21 апреля и 15 декабря 1851 г. Ломсон сделал в Эдинбургском Королевском обществе доклады, опубликованные в «Трудах» общества за 1851 г. и в «Philosophical Magazine» за 1852 г. под заглавием «О динамической теории теплоты». Эта работа представляет собой изложение новой точки зрения на теплоту, согласно которой «теплота представляет собой не вещество, а динамическую форму механического эффекта». Поэтому «должна существовать некоторая эквивалентность между механической работой и теплотой». Томсон указывает, что этот принцип, «по-видимому, впервые... был открыто провозглашен в работе Майера «Замечания о силах неживой природы». Далее он упоминает работу Джоуля, исследовавшего численное соотношение, «связывающее теплоту и механическую силу».

Томсон утверждает, что вся теория движущей силы теплоты основана на двух положениях, из которых первое восходит к Джоулю и формулируется следующим образом:

«Во всех случаях, когда равные количества механической работы получаются каким бы то ни было способом исключительно за счет теплоты или бывают израсходованы исключительно на получение тепловых действий, всегда теряются или приобретаются равные количества теплоты».

Второе положение Томсон формулирует так:

«Если какая-либо машина устроена таким образом, что при работе ее в противоположном направлении все механические и физические процессы в любой части ее движения превращаются в противоположные, то она производит ровно столько механической работы, сколько могла бы произвести за счет заданного количества тепла любая термодинамическая машина с теми же самыми температурными источниками тепла и холодильника».

Эта положение Томсон возводит к Карно и Клаузиусу и обосновывает следующей аксиомой: «Невозможно при помощи неодушевленного материального деятеля получить от какой-либо массы вещества механическую работу путем охлаждения ее ниже температуры самого холодного из окружающих предметов».

К этой формулировке, которую называют томсоновской формулировкой второго начала, Томсон делает следующее примечание: «Если бы мы не признали эту аксиому действительной при всех температурах, нам пришлось бы допустить, что можно ввести в действие автоматическую машину и получать путем охлаждения моря или земли механическую работу в любом количестве, вплоть до исчерпания всей теплоты суши и моря или в конце концов всего материального мира». Описанную в этом примечании «автоматическую машину» стали называть *perpetuum mobile* 2-го рода и формулировку Томсона кратко выражать как принцип невозможности *perpetuum mobile* 2-го рода. В 1852 г., развивая положения статьи 1851 г., Томсон приходит к следующим выводам:

«1. В материальном мире существует в настоящее время общая тенденция к расточению механической энергии.

2. Восстановление механической энергии в ее прежнем количестве без рассеяния ее в более чем эквивалентном количестве не может быть осуществлено при помощи каких бы то ни было процессов с неодушевленными предметами и, вероятно, также никогда не осуществляется при помощи организованной материи, как наделенной растительной жизнью, так и подчиненной воле одушевленного существа.

3. В прошлом, отстоящем на конечный промежуток времени от настоящего момента, Земля находилась и спустя конечный промежуток времени снова очутится в состоянии,

непригодном для обитания человека; если только в прошлом не были проведены и в будущем не будут предприняты такие меры, которые являются неосуществимыми при наличии законов, ныне регулирующих известные процессы, протекающие ныне в материальном мире».

В этой небольшой заметке, носящей выразительное название «О проявляющейся в природе общей тенденции к рассеянию механической энергии», Томсон формулирует знаменитую концепцию «тепловой смерти». Заметим, что в этой заметке Томсон заменил термин «движущая сила» современным термином «энергия».

В 1853 г. Уильям Джон Макуорн Ранкин (1820-1872), инженер и профессор технической механики в Глазго, в статье «Об общем законе превращения энергии» вводит термин «энергия» и формулирует закон сохранения энергии в следующем виде: «Сумма всей энергии (потенциальной и кинетической) во Вселенной остается неизменной». С этого времени термин «энергия» и закон сохранения энергии входят во всеобщее употребление.

Клаузиус, который много трудился над математическим оформлением основ термодинамики, в своей «Механической теории тепла» дает аналитическое выражение первого начала и вводит фундаментальное понятие внутренней энергии. Он определяет понятие механической работы, исследует условия интегрируемости дифференциального выражения работы:

$$dW = Xdx + Ydy + Zdz$$

В общем случае интеграл этого выражения зависит от пути интегрирования, но в случае, когда компоненты силы равны частным производным от силовой функции, интеграл не зависит от формы пути. Ранкин назвал функцию, отрицательным дифференциалом которой является работа, потенциальной энергией. «Это название, – пишет Клаузиус, – правда, превосходно выражает значение потенциальной энергии, но оно несколько длинно; поэтому я позволил себе предложить для этой величины название эргал». Однако это название в науке не удержалось, а термин, предложенный Ранкиным, сохранился.

Первое начало термодинамики Клаузиус записывает в следующем виде:

$$dQ = dH + dL, \text{ (I)}$$

где dQ - бесконечно малое количество теплоты, сообщенное телу, в результате чего изменяется количество теплоты, имеющееся в теле, на величину dH и тело, изменяя свое состояние, совершает работу dL . Работу dL Клаузиус разделяет на внутреннюю dl и внешнюю dW , так что $dL = dl + dW$. Уравнение (I) принимает следующий вид:

$$dQ = dH + dJ + dW, \text{ (II)}$$

Внутренняя работа не зависит от формы пути, внешняя же может быть различна для различных переходов от одного состояния в другое.

Клаузиус еще в первой работе 1850 г., имея в виду, что теплота, содержащаяся в теле, и внутренняя работа «играют совершенно одинаковую роль» и не могут быть разделены вследствие незнания нами внутренних сил, объединил H и I в одну функцию $U: U = H + I$ - и уравнение первого начала записал в виде:

$$dQ = dW + dU, \text{ (III)}$$

Величину U Клаузиус, следуя Том-сону, назвал энергией тела. Мы теперь добавляем прилагательное «внутренняя». Это прилагательное употреблял в 1860 г. Цейнер, но он неправильно говорил сначала о «внутренней теплоте», а затем о «внутренней работе» тела.

Переходя ко второму началу термодинамики, Клаузиус рассматривает круговые обратимые процессы и указывает, что в простом круговом процессе типа цикла Карно совершаются два вида превращений: переход теплоты в работу и переход теплоты более высокой температуры в теплоту более низкой температуры. Второе начало «должно выражать отношение между этими двумя превращениями». Оба эти превращения – «явления одинаковой природы» и в обратимом процессе могут замещать друг друга. Клаузиус формулирует второе начало как принцип эквивалентности превращения следующим образом:

«Если мы назовем эквивалентными два превращения, которые могут замещать друг

друга, не требуя для этого никакого другого длительного изменения, то возникновение из работы количества теплоты Q , имеющего температуру T , обладает эквивалентом Q/τ , а переход количества теплоты Q от температуры T_1 , к температуре T_2 имеет эквивалент $Q(1/\tau_2 - 1/\tau_1)$, где τ есть некоторая функция температуры, независимая от рода процесса, с помощью которого совершаются превращения». Клаузиус показывает, что для обратимого кругового процесса сумма эквивалента равна нулю:

$$\int \frac{dQ}{\tau} = 0.$$

Это, по Клаузиусу, является математическим выражением второго начала. «Стоящее под знаком интеграла выражение dQ/τ , – пишет Клаузиус, – является дифференциалом некоторой связанной с состоянием тела величины, которая полностью определена, если известно состояние тела в рассматриваемый момент, хотя бы ничего не было известно о пути, по которому тело в рассматриваемое состояние пришло». Эту функцию Клаузиус ввел в 1865 г. и назвал энтропией (от греческого слова «тропэ» – превращение). Дифференциал энтропии

$$dS = dQ/\tau.$$

Для определения функции температуры τ Клаузиус рассматривает обратимый процесс с идеальным газом. В этом случае отношение отданной и поглощенной теплоты Q и Q_1 , будет равно отношению температур:

$$Q/Q_1 = T/T_1. \text{ С другой стороны,}$$

$$\int \frac{dQ}{\tau} = \frac{Q}{\tau} - \frac{Q_1}{\tau_1} = 0;$$

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{\tau}{\tau_1} \text{ и } \frac{\tau}{\tau_1} = \frac{T}{T_1}.$$

Следовательно,

$$\tau/T = \text{const.}$$

Постоянная не имеет существенного значения. Принимая ее равной 1, получим $\tau = T$ и $dS = dQ/T$.

Для необратимых процессов

$$\int \frac{dQ}{T} > 0$$

и энергия, способная к превращениям, уменьшается, а энтропия соответственно растет.

Клаузиус формулирует второе начало термодинамики в виде положения: «Энтропия Вселенной стремится к максимуму». Так через 20 лет после Томсона Клаузиус также пришел к концепции «тепловой смерти». Постулат Клаузиуса и концепция тепловой смерти вызвали большое количество возражений. Были придуманы многочисленные эксперименты, казалось, противоречащие принципу Карно -Клаузиуса. Очень тонкий мысленный эксперимент выдвинул Максвелл в своей «Теории тепла» (1870). Максвелл сначала считал, что второе

начало имеет ограниченную область применения. «Это положение, – писал Максвелл о втором начале, – несомненно верно, пока мы имеем дело с телами большой массы и не имеем возможности ни различать отдельных молекул в этих массах, ни работать с ними. Но если представить себе существо со столь изощренными способностями, что оно было бы в состоянии следить за каждой отдельной молекулой во всех ее движениях, то подобное существо было бы способно сделать то, что для нас в настоящее время невозможно... Представим себе..., что какой-нибудь сосуд разделен на две части А и В перегородкой с маленьким отверстием в ней. Пусть существо, способное различать отдельные молекулы, попеременно то открывает, то закрывает отверстие, и притом таким образом, чтобы только быстро движущиеся могли переходить из Л в Б, и только медленнее движущиеся, наоборот, из В в А: Следовательно, такое существо без затраты работы повысит температуру в В и понизит ее в А – вопреки второму началу термодинамики ».

«Демон Максвелла» работает, используя основные положения кинетической теории, согласно которым молекулы движутся с различными скоростями и температура пропорциональна средней кинетической энергии молекул. Действительно, молекулярная теория допускает существование процессов, происходящих в противоречии со вторым началом, а само второе начало является не абсолютным, а статистическим законом. «Демон Максвелла» - веха на пути к статистическому пониманию второго закона. Однако порожденная этим образом дискуссия привела к пониманию, что законы микро мира делают невозможным осуществление эксперимента Максвелла.

Критическое отношение многих ведущих физиков того времени к закону сохранения энергии, дискуссия вокруг второго начала термодинамики вытекали из самого существа этих фундаментальных открытий, затрагивающих глубокие вопросы мировоззрения. Эпоху установления начал термодинамики сравнивали – и не без основания – с эпохой Галилея.

Наука и тогда, и в эту эпоху вплотную подходила к вопросам, издавна считавшимся прерогативой религии: начало и конец мироздания, сотворение и уничтожение материи и движения. Закон сохранения энергии укреплял позиции материалистов и подрывал устойчивость религиозного мировоззрения. С другой стороны, концепция тепловой смерти казалась благоприятной для церковного учения о «конце мира», о «последних временах», предшествующих вторичному приходу Христа. Все это способствовало возникновению острой философской дискуссии вокруг новых открытий в физике.

С конца XVIII в. началось резкое расхождение между философией и естествознанием. Естествознание занялось «малыми делами», измеряя константы, производя многочисленные опыты; философия, возглавляемая Кантом, Фихте, Шеллингом и Гегелем, ушла в отвлеченные высоты духа. Герцен в своих «Письмах об изучении природы» ярко охарактеризовал это соотношение эмпирического естествознания и идеалистической философии. Мы приводили его высказывание о «взаимном недоверии» отвлеченной философии и эмпирического естествознания. Это «взаимное недоверие» проявилось и в судьбе работ Майера и Гельмгольца, от которых всячески пытались откренестись Поггендорф и другие представители эмпирического естествознания. Но в этой борьбе, в этом столкновении эмпирики и теории выросло новое научное миропонимание.

Основоположники научного социализма Маркс и Энгельс пристально следили за успехами нового естествознания и черпали оттуда идеи и доказательства для создания нового мировоззрения – диалектического материализма. Они увидели объективную диалектику природы в новых открытиях и нашли могучий синтез гегелевской диалектики и опытного естествознания. Мир предстал перед ними как вечно движущаяся материя, как непрерывное, не прекращающееся превращение форм движения, как арена борьбы противоположных начал.

В великом открытии Майера, Джоуля и Гельмгольца они видели не только опору материалистического мировоззрения, но и поворотный пункт в развитии естествознания от механистического материализма Декарта и Ньютона к новому, диалектическому материализму. Энгельс подчеркивал в законе сохранения энергии не только его

количественную сторону – сохранение энергии, но и качественное содержание: всякое превращение многообразных форм движения. «Если еще десять лет тому назад, – писал он в 1885 г., – новооткрытый великий основной закон движения понимался лишь как закон сохранения энергии, лишь как выражение того, что движение не может быть уничтожено и создано, т. е. понимался только с количественной стороны, то это узкое, отрицательное выражение все более вытесняется положительным выражением в виде закона превращения энергии, где впервые вступает в свои права качественное содержание процесса и стирается последнее воспоминание о внемировом творце».(*Энгельс ф. Анти-Дюринг. - Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 20, с. 13.*)

В этом законе превращения Энгельс видит опровержение концепции тепловой смерти. «Современное естествознание, – пишет он, – вынуждено было заимствовать у философии положение о неуничтожимости движения; без этого положения естествознание теперь не может уже существовать. Но движение материи – это не одно только грубое механическое движение, не одно только перемещение; это – теплота и свет, электрическое и магнитное напряжение, химическое соединение и разложение, жизнь и, наконец, сознание. Говорить, будто материя за все время своего бесконечного существования имела только один-единственный раз – и то на одно лишь мгновение по сравнению с вечностью ее существования – возможность дифференцировать свое движение и тем самым развернуть все богатство этого движения и что до этого и после этого она навеки ограничена одним простым перемещением, – говорить это значит утверждать, что материя смертна и движение преходяще. Неуничтожимость движения надо понимать не только в количественном, но и в качественном смысле».(*Энгельс Ф. Анти-Дюринг. - Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 20, с. 360.*)

Энгельс понимает мир как вечный круговорот движущейся материи, в котором «материя при всех своих превращениях, остается вечно одной и той же» и «ни один из ее атрибутов никогда не может быть утрачен».

Механическая теория тепла и атомистика

Глубокие мысли Энгельса оставались неизвестными естествоиспытателям. «Анти-Дюринг» печатался в социал-демократической газете и носил явно выраженный полемический характер; «Диалектика природы» вообще стала известной лишь в 1925 г. Однако сами физики начали осознавать, что открытие закона сохранения энергии дает основу для нового синтеза, для цельного взгляда на природу, дает возможность построить единую физическую картину мира. Поскольку все формы энергии оказалось возможным измерить в единой мере, в единицах механической работы, считалось возможным свести все физические процессы к механическим движениям, построить механическую картину мира. Первым шагом в этом направлении явилось создание механической теории теплоты. Создатели механической или динамической теории теплоты осуществили программу, намеченную М.В.Ломоносовым еще в XVIII в. В основе этой программы лежало представление о теплоте как о форме движения мельчайших частиц вещества, «нечувствительных» частичек, по выражению Ломоносова, т. е. молекул и атомов согласно представлениям химиков XIX в.

Атомно-молекулярное учение о материи сопутствовало физическим и химическим исследованиям на всем протяжении истории науки, начиная с Левкиппа и Демокрита. Оно то подавлялось и отходило на задний план, то вновь воскрешалось и вело мысль исследователя. Со времен Бойля оно стало служить химии и было положено Ломоносовым в основу учения о химических превращениях. Начало XIX в. ознаменовалось важными открытиями, стимулировавшими развитие химической атомистики. Это было открытие закона постоянства состава и закона кратных отношений. Закон постоянства состава был высказан еще в 1801 г. французским химиком Прустом (1754–1826). В противовес мнению другого французского химика – Бертолле (1748–1822), учившего, что состав вещества изменяется

непрерывно, Пруст утверждал, что процентное содержание компонент сложных веществ изменяется скачком. Спор с Бертолле продолжался восемь лет и закончился победой Пруста.

Закон постоянства состава и скачкообразное изменение весового содержания компонентов в различных соединениях простых веществ подсказывают идею о неизменяемых мельчайших частичках вещества, вступающих во взаимодействие друг с другом в сложных соединениях. Эта мысль была высказана и подробно обоснована английским химиком Джоном Дальтоном.

Д. Дальтон



Джон Дальтон родился 6 сентября 1766 г. в семье деревенского ткача. Как и его знаменитый соотечественник фарадей, он приобрел знания самообразованием и уже к 15 годам достиг таких успехов, что получил место преподавателя математики в школе города Кендала. В 1793 г. он становится преподавателем натуральной философии (так в английских колледжах называлась физика) и математики в колледже в Манчестере, где знаменитый социалист-утопист Роберт Оуэн вводит его в состав Манчестерского литературного и философского общества. Членом этого общества позднее был другой знаменитый манчестерец – Джоуль, а в XX в. на заседании этого общества Эрнст Резерфорд сделал доклад о своих опытах, приведших к открытию ядерной модели атома. Дальтон в 1800 г. становится секретарем общества, а с 1817 г. его председателем. Умер Дальтон в Манчестере 27 июля 1844 г.

Дальтону принадлежат фундаментальные исследования смесей газов и паров, в результате которых он вывел названный его именем закон независимости парциальных давлений компонентов смеси (1801–1802). В 1802 г. за несколько месяцев до Гей-Люссака он установил закон теплового расширения газов. В 1803 г. Дальтон, руководствуясь атомистической гипотезой, вывел закон кратных отношений и доказал его на примере углеводородных соединений – метана и этилена.

Дальтон ввел в химию фундаментальное понятие атомного веса и, приняв за единицу атомного веса вес атома водорода, определил атомные веса некоторых элементов. Ошибочно приняв, что в состав молекулы воды входит один атом водорода и один атом кислорода, он неправильно определил атомные веса кислорода и азота. Но Дальтон первым составил таблицу атомных весов и ввел химическую символику, правда, не вполне удачную и замененную в химии более удобной символикой Берцелиуса (1779–1848).

Как нередко бывает в истории науки, открытия, легшие в основу современной химии, делались независимо и почти одновременно многими исследователями. К открытию атомного веса подходил немецкий химик Иеремия Рихтер (1762–1807). Закон расширения газов был установлен независимо от Дальтона в 1802 г. французским физиком и химиком

Жозефом Луи Гей-Люссаком (1778–1850). Через три года после этого открытия Гей-Люссак начал совместно со знаменитым немецким естествоиспытателем Александром Гумбольдтом опыты, которые привели в 1808 г. к установлению закона кратных объемов, согласно которому объем газообразного соединения находится в простом кратном отношении к объемам компонентов. Однако теоретическое истолкование этого закона в ряде случаев приводило к противоречию с данными Дальтона, и Дальтон резко выступал против этого закона. Сам же Гей-Люссак отказался от попыток теоретически истолковать открытый им закон и рассматривал его как опытный факт.

В 1811 г. итальянский физик и химик Амедео Авогадро (1776-1856), развивая атомно-молекулярную теорию, установил закон, ныне носящий его имя: при одинаковых условиях температуры и давления в равных объемах газов содержится одинаковое количество молекул. При этом Авогадро допускал, что молекула одного и того же элемента может состоять из нескольких атомов, и это дало ему возможность объяснить результаты опытов Гей-Люссака в терминах атомно-молекулярной теории. Аналогичную точку зрения высказал в 1814 г. Ампер.

Дальтон, Берцелиус и другие видные химики не приняли теорию Авогадро и задержали развитие химической атомистики до 60-х годов XIX в., когда Же-пар (1816–1856) подтвердил закон Авогадро новыми опытными данными и поддержанная итальянским химиком Канниццаро (1826–1910) атомно-молекулярная теория прочно вошла в химию. Утверждение атомной теории в химии соответствовало ее применению в физике, когда открытие закона сохранения энергии воскресило представление о теплоте как о форме движения. Это представление, высказанное в 1620 г. в смутной форме ф. Бэконом, развитое в 1743–1745 гг. М.В.Ломоносовым, было вновь высказано одним из основателей закона сохранения и превращения энергии – Джеймсом Джоулем в докладе «Некоторые замечания о теплоте и о строении упругих жидкостей», сделанном на заседании Манчестерского литературного и философского общества 3 октября 1848 г. Доклад был опубликован только через три года в трудах общества и затем через шесть лет в «Philosophical Magazine»

Джоуль начинает с указания на свои опыты, результаты которых были доложены на съезде Британской Ассоциации в 1842 г. Эти опыты показали, «что магнитоэлектрическая машина дает нам возможность обратить механическую силу в теплоту». Вместе с тем они привели к выводу о взаимной обратимости теплоты и механической силы и, следовательно, к выводу, «что теплота является либо *vis viva* (живой силой) весомых частиц, либо некоторым состоянием притяжения и отталкивания способным породить *vis viva* (живую силу)».

Гей-Люссак



Так Джоуль со всей ясностью пока зывает, что закон сохранения энергии находит свое выражение в превращении работы в теплоту в строго определенном количественном

отношении. Ученый приходит к выводу, что теплота является формой кинетической энергии (живой силы) или потенциальной («некоторым состоянием притяжения и отталкивания») весомых частиц Упомянув о своих опытах 1844 г. по изменению температуры воздуха путем адиабатического сжатия или расширения, он заключает, что упругость газов «должна представлять собой эффект движения частиц, из которых состоит всякий газ». Приводя высказывание Дэви о теплоте как о колебательном движении частиц вещества, Джоуль указывает, что он лично «попытался показать, что вращательное движение, аналогичное описанному сэром Дэви, способно объяснить закон Бойля и Мариотта, а также другие явления, представляемые упругими жидкостями». Джоуль не знает, что Ломоносов объяснил закон Бойля с помощью гипотезы о вращательном движении «нечувствительных частичек».

Однако он считает более простой гипотезу, высказанную в 1821 г. Герепатом, в которой частицы газа принимаются движущимися поступательно во всех направлениях, и исходит из этого представления, подчеркивая вместе с тем, что «гипотеза вращательного движения в равной мере хорошо согласуется с этими явлениями».

Джоуль приводит подсчет скорости движения частиц водорода, находящегося при определенной температуре и давлении Он оперирует конкретными цифрами массы, температуры, давления водорода и, считая, что частицы движутся в сосуде кубической формы в равном количестве по трем направлениям, показывает, что «давление будет пропорционально квадрату скорости частиц» Джоуль определяет численное значение этой скорости.

Вывод Джоуля совершенно конкретен газ – водород, масса газа 36,927 грана, давление 30 дюймов ртутного столба, температура 60° Фаренгейта. Скорость частиц водорода оказалась равной 6225 футов в секунду, при температуре замерзания воды (32° Фаренгейта) она будет 6055 футов в секунду Джоуль указывает, что при этих подсчетах частицы водорода считаются не имеющими заметного размера, иначе скорость получалась бы при том же давлении меньшей. Он указывает далее, что «абсолютная температура, давление и *vis viva* пропорциональны друг другу», а теплоемкость газа «выражается общей суммой *vis viva* при данной температуре» Таким образом, на основе конкретного числового подсчета Джоуль выводит основной закон идеального газа.

В 1857 г в «Анналах» Поггендорфа была напечатана статья Клаузиуса «О роде движения, который мы называем теплотой» «Перепечатавая эту статью в третьем томе своей «Механической теории тепла», Клаузиус дополнил ее исторической справкой, в которой упомянул о Джоуле, переиздавшем свою статью 1848 г. согласно пожеланию Клаузиуса в 1857 г., а также о работе Крёнига «Очерки теории газов», опубликованной в «Анналах» Поггендорфа в 1856 г. В этой справке Клаузиус называет длинный ряд имен, начиная с Лукреция, Гассенди, Бойля и Даниила Бернулли. Ломоносова он, однако, не упоминает, его работы, опубликованные в «Новых Комментариях» Петербургской Академии наук, были к тому времени уже забыты. Сам Клаузиус сознается, что к его списку, «вероятно, можно будет прибавить еще и ряд других авторов», но он «не читал более старых авторов». Так или иначе, но имя Ломоносова в период торжества его идей не упоминалось.

Клаузиус подчеркивает, что его термодинамические исследования не связаны с какими-либо представлениями о тепловом движении. Все сделанные в первой части «Механической теории тепла» выводы «основываются на некоторых обидях законах, которые можно признать правильными, не делая никаких определенных предположений о природе теплоты». Эта общность термодинамических методов, впервые четко констатированная Клаузиусом, делает термодинамику чрезвычайно мощным инструментом исследования, применимым во всех областях физической науки. Вместе с тем Клаузиус признает, что его исследования «не были свободны от мысли о некоторой гипотезе» и что он «уже в начале своих работ, относящихся к теплоте..., попытался разобраться во внутреннем состоянии движения нагретого тела и составил себе об этом некоторое представление...».

Это признание Клаузиуса очень важно. Еще до опубликования первой своей работы он руководствовался молекулярно-кинетической гипотезой, она помогала ему выработать

основные понятия и принципы теории теплоты. Термодинамике специальная гипотеза о природе теплоты не нужна, но создателю термодинамики она была необходима. «Таково свойство гипотез, – писал Д.И. Менделеев. – Они науке, и особенно ее изучению, необходимы... Гипотезы облегчают и делают правильную научную работу – отыскание истины как плуг земледельца облегчает выращивание полезных растений».

Клаузиус излагает основные представления новой теории газов, которую он называет «кинетической». Молекулы газа движутся прямолинейно с постоянной скоростью, которая изменяется в процессе столкновения с другими молекулами или с непроницаемой стенкой. При этом «живая сила их движений в среднем сохраняет ту же величину, какую она имела до столкновения». Давление газа объясняется ударами молекул о непроницаемую стенку.

Наряду с поступательным движением Клаузиус допускает и вращательное, а также некоторое колебательное движение внутри отдельных частичек. Если даже принять атомы абсолютно неизменными, то молекула, состоящая из нескольких атомов, «не образует уже абсолютно неизменной массы» и атомы внутри ее «могут колебаться друг относительно друга». Клаузиус допускает также возможность того, «что каждый весомый атом обладает еще и некоторым количеством более тонкой материи и что последняя, не отделяясь от атома, может поблизости от него совершать некоторые движения».

Наличие этих внутренних движений приводит к тому, что отдельные молекулы между собой и с молекулами стенки взаимодействуют не упруго. В среднем же установившемся состоянии поступательное движение молекул не изменяется под влиянием движения частей молекул, и «при исследовании совокупного действия большого количества молекул можно пренебречь неправильностями, имеющими место при отдельных столкновениях, и полагать, что по отношению к поступательному движению молекулы следуют общим законам упругости». При этом Клаузиус считает, что поступательное движение каждой молекулы в среднем находится в постоянном отношении к движению ее составных частей.

Еще в 1857 г. Клаузиус вывел основную формулу кинетической теории газов, согласно которой давление газа равно двум третям средней кинетической энергии всех молекул в единице объема. В третьем томе «Механической теории тепла» он снова обращается к этому выводу. Рассматривая механизм удара молекулы о стенку, он считает, что благодаря наличию движений составных частей молекул таза и стенки происходит взаимодействие этих внутренних движений и «в зависимости от фаз, в которых находятся движения последних в момент удара, они могут различным образом повлиять на движение всей молекулы, возникающее в результате удара».

Как видим, Клаузиус ясно представлял себе сложность процесса столкновения молекул и атомов и определяющую роль движений их структурных элементов. Но для большого числа молекул в среднем дело обстоит так, как если бы молекулы отражались после удара о стенку «согласно тем же законам, что и упругие шары от неподвижной стенки». Таким образом, механизм упругого удара, обуславливающий давление газа, получается, по Клаузиусу, в результате усреднения, когда «можно принять, что после отражения молекулы в среднем обладают той же самой живой силой, какую они имели в момент налета, и что среди отраженных молекул все направления движений по отношению к стенке представлены совершенно так же, как были представлены направления движений налетевших на стенку молекул». Если сделать такое допущение, то, указывает Клаузиус, «при определении давления совершенно безразлично, если вместо среднего лишь равенства допустить существование равенства при каждом отдельном ударе». При обычном, школьном выводе просто предполагается, что молекула сталкивается со стенкой по законам упругого удара, и таким образом игнорируется тот сложный путь, который привел Клаузиуса к этому допущению.

Вторым допущением Клаузиуса является гипотеза идеального (совершенного) газа: во-первых, молекулы газа «настолько малы, что их объемом можно пренебречь по сравнению с объемом, занимаемым всем газом, и, во-вторых, молекулы проявляют силы взаимодействия, лишь находясь в непосредственной близости друг от друга». Кроме того,

при подсчете давления Кляузиус делает мимоходом предположение, что молекулы газа «движутся во всех возможных направлениях, так что любое направление столь же вероятно, как и все прочие». Это гипотеза молекулярного хаоса. При вычислении давления Клаузиус использует второй и третий законы Ньютона, а так как к тому же от столкновения до столкновения молекулы, по предположению, движутся равномерно и прямолинейно по закону инерции, то, очевидно, Клаузиус принимает, что к молекулам и атомам применимы законы Ньютона, законы классической механики.

Итак, Клаузиус строит кинетическую теорию газов на основе классической механики, привлекая молекулярные представления и статистику. В формуле давления у него фигурирует средний квадрат квадратов скоростей отдельных молекул. Он вычисляет среднее число столкновений и среднюю длину свободного пробега молекулы, оперируя понятиями теории вероятностей. Эти результаты и методы подсчета Клаузиуса ныне вошли в учебники физики.

21 сентября 1859 г. на собрании Британской Ассоциации содействия прогрессу наук Джеймс Клерк Максвелл сделал доклад «Пояснения к динамической теории газов». Максвелл отмечает, что из молекулярной гипотезы «может быть выведено так много свойств материи, в особенности если ее взять в газообразной форме, что истинная природа этого движения является предметом естественного интереса».

Максвелл указывает далее, что Даниил Бернулли, Джоуль, Крёниг, Клаузиус и другие «показали, что отношения между давлением, температурой и плотностью в совершенном газе могут быть объяснены, если предположить, что частицы движутся с постоянной скоростью по прямолинейным путям, ударяясь о стенки сосуда, содержащего газ, и вызывая этим давление». Для определения таких молекулярных величин, как средняя длина свободного пробега и диаметр молекулы, Максвелл исследует на основе законов механики движение и столкновение некоторого числа твердых, упругих шаров малого размера. Он

приходит к выводу, что в такой системе в результате взаимных столкновений устанавливается распределение живых сил между частицами «согласно некоторому правильному закону». При этом возможно определить «среднее число частиц, скорости которых лежат между определенными пределами, хотя скорость каждой отдельной частицы изменяется при каждом столкновении». Максвелл находит следующие результаты.

«1. Число частиц, скорость которых, разложенная в определенном направлении, лежит между x и $x + dx$, равно:

$$N = \frac{1}{\alpha \sqrt{\pi}} e^{-\frac{x^2}{\alpha^2}} dx.$$

(1)

2. Число частиц, действительные скорости которых лежат между v и $v + dv$, равно:

$$N = \frac{4}{\alpha^3 \sqrt{\pi}} v^2 e^{-\frac{v^2}{\alpha^2}} dv.$$

(2)

3. Средняя скорость равна:

4. Среднее значение равно:

Максвелл в качестве общего вывода констатирует, что «скорости распределяются

между частицами по тому же закону, по которому распределяются ошибки между наблюдениями в теории «метода наименьших квадратов». Скорости лежат в пределах от 0 до ∞ , однако число молекул, имеющих большие скорости, сравнительно невелико.

Далее Максвелл показывает, что если в одном и том же сосуде движутся две системы частиц, то «средняя живая сила каждой частицы одинакова в обеих системах». Позднее Максвелл в своей речи «Молекулы» говорил по поводу этого предложения: «Динамическая теория говорит нам также и о том, что происходит, когда молекулы различных масс сталкиваются друг с другом. Большие массы будут двигаться медленнее меньших, так что в среднем каждая молекула, большая или малая, будет иметь ту же энергию движения.

Доказательство этой динамической теоремы – и в этом я заявляю свои права на приоритет – в последнее время получило широкое развитие и усовершенствование благодаря трудам д-ра Людвиг Больцмана. Самое важное следствие, из нее вытекающее, состоит в том, что кубический сантиметр любого газа при постоянных температуре и давлении содержит одинаковое число молекул». Так закон Авогадро получил свое истолкование в кинетической теории газов наряду с другими законами идеальных газов.

Максвелл определяет вероятность того, что частица пройдет заданное расстояние до того, как она столкнется с другой частицей, и находит ее равной

$$1 - ax$$

, где x - заданное расстояние. Среднее расстояние, проходимое каждой частицей до столкновения, равно $l = 1/a$. Он показывает далее, что давление, вызванное ударами частиц о стенку, выражается формулой:

$$p = \frac{1}{3} MNv^2,$$

где N - число частиц в единице объема, M - масса каждой частицы, v - ее скорость. В выводе Максвелла фигурирует средняя длина свободного пробега, которая выпадает из конечного результата. Полагая $MN = \rho$ - плотность газа,

$$v^2 = 3k,$$

получаем:

$$p = k\rho,$$

что выражает закон Бойля – Мариотта. При этом константа k выражается через средний квадрат скорости:

$$\overline{v^2} = \frac{3}{2} \alpha^2,$$

так что

$$\alpha^2 = 2k.$$

Длину свободного пробега Максвелл определяет из коэффициента внутреннего трения. Рассматривая перенос количества движения («момента», по терминологии Максвелла) между двумя слоями газа, движущимися с различными скоростями, он находит выражение

для силы трения, приходящейся на единицу площади:

$$F = 1/3 MNlv (du/dz) ,$$

где du/dz – градиент скорости. Полагая $F = \mu(du/dz)$, согласно закону трения, находим:

$$\mu = 1/3 MNlv = 1/3 \rho lv.$$

Но длина свободного пробега

$$l = \frac{1}{\sqrt{2}\pi S^2 N},$$

где S - диаметр частицы. Отсюда получаем:

$$\mu = \frac{1}{3\sqrt{2}} \cdot \frac{Mv}{\pi S^2}.$$

Максвелл пишет, что его уравнение «приводит нас к замечательному выводу», заключающемуся в том, что «коэффициент трения не зависит от плотности. Этот вывод из математической теории является крайне поразительным, и единственный опыт, с которым я встретился в этой области, его как будто не подтверждает». На самом деле, как оказалось, этот вывод подтвердился опытом в широких пределах давлений, но Максвелл считает необходимым «сопоставить свою теорию с тем, что известно о диффузии газов и о происхождении теплоты через газ». Таким образом, Максвелл исследовал впервые явления переноса. Подводя итоги своим исследованиям, Максвелл писал: «Мы проследили здесь за математической теорией столкновения твердых упругих частиц в различных случаях, в которых, казалось бы, существует аналогия с явлением газов. Мы вывели, как это уже раньше сделали и другие, отношения давления, температуры и плотности для отдельного газа. Мы также доказали, что когда два различных газа свободно действуют друг на друга (а это бывает, когда они находятся при одной и той же температуре), то массы отдельных частиц каждого газа обратно пропорциональны квадрату молекулярной скорости и что, следовательно, при равной температуре и равном объеме количество частиц в единице объема одинаково».

В резюме Максвелла обращает на себя внимание тот факт, что он ни слова не говорит об открытом им законе распределения скоростей, зато подробно говорит об объяснении закона Аво-гадро. Заметим, что об этом объяснении он всегда упоминал в своих популярных статьях и выступлениях. Между тем мы сейчас видим главную заслугу Максвелла в открытом им законе скоростей и забыли о том, что сам Максвелл считал наиболее важным.

Теорию равномерного распределения энергии по степеням свободы мы связываем с Больцманом. Она охватывает открытие Максвеллом равенства средних энергий молекул независимо от их массы при одной и той же температуре и объясняет неудачу его попытки истолковать соотношение теплоемкости.

В теории Максвелла особенно наглядно видны ее механические предпосылки. Модель твердых упругих шариков, предложенная Максвеллом для объяснения газовых законов, работает по законам механики Ньютона. Максвелл не сомневался в применимости этих законов к атомам и молекулам. Но его поражал один замечательный факт в атомно-молекулярном мире; строгая определенность свойств молекул и атомов. «Молекулы, – пишет Максвелл, – образованы по одному и тому же типу с точностью, какой мы не находим в ощущаемых нами свойствах тел, ими образуемых. Во-первых, масса каждой молекулы и все другие ее свойства абсолютно неизменны. Во-вторых, свойства всех молекул одного рода абсолютно тождественны».

Открытие спектрального анализа вновь подтвердило эту определенность свойств молекул и атомов. «При помощи спектроскопа, – говорил Максвелл, – длины световых волн различного рода можно сравнивать между собой до одной десятитысячной доли. Таким

путем убедились, что не только молекулы каких угодно образчиков водорода в наших лабораториях имеют один и тот же ряд периодов колебаний, но что свет с тем же самым рядом периодов колебаний испускается Солнцем и неподвижными звездами. Таким образом мы убеждаемся, что молекулы такой же точно природы, как у нашего водорода, существуют и в отдаленных пространствах... Молекула водорода... находится ли она на Сириусе или на Арктуре, совершает свои колебания в точности в то же самое время. Следовательно, каждая молекула во Вселенной носит на себе печать меры и числа настолько же ясную, как и метр парижских архивов или как двойной царский локоть карнакского храма.

Ум Максвелла останавливается перед этой таинственной, не объяснимой никакими известными в его время естественными причинами загадкой определенности молекул, необычайной устойчивости их свойств. Он сравнивает эту устойчивость с устойчивостью планетных орбит и указывает, что «научное значение этих астрономических и земных величин много ниже фундаментальных величин, образующих молекулярную систему». «Как мы знаем, – пишет Максвелл, – естественные процессы изменяют и в конце концов разрушают весь порядок и размеры как Земли, так и всей солнечной системы. Но если случались и вновь могут случиться катастрофы, если старые системы могут разрушаться и на их развалинах могут возникать новые системы, то молекулы, из которых эти системы построены, неразрушимы и неизменны – это краеугольные камни материальной Вселенной». Максвелл считает, что такая определенность и неизменяемость молекул, придающая им, по выражению Джона Гершеля, «характерные признаки фабричных изделий», «исключает мысль о возможности их вечного существования и самопроизвольного происхождения», т. е. молекулы и атомы должны быть «изготовлены» богом. Так, по Максвеллу, мы подошли к точке, «дальше которой наука идти не может».

Но наука пошла дальше. То, перед чем остановился Максвелл и к чему призвал на помощь бога, то, что было совершенно необъяснимо с точки зрения классической физики, привлекло внимание Бора. Он открыл в этой определенности «числа и меры» определенность квантовых законов, в которых господствует неизменная и неразрушимая величина – постоянная Планка. Бор в своей нобелевской речи также сравнивает законы, управляющие движением планет, с законами, господствующими в атоме водорода, как и Максвелл. Квантовая физика нашла ключ к разрешению загадки, перед которой остановился Максвелл. Но величие Максвелла в том и проявляется, что он понял, что это загадка, непосильная для классической физики.

Дальнейшее развитие теплофизики и атомистики

Термодинамика и кинетическая теория газов затрагивали самые глубокие вопросы мировоззрения. Единство сил природы, направленность естественных процессов, неизменность «кирпичей мироздания» – все эти вопросы так или иначе возникали из новых теорий и представлений. Рушилась концепция мира, разделенного непреходимыми перегородками на отдельные области. Одним из последних устоев этой концепции было представление о совершенных, «постоянных» газах, не переходящих ни в жидкое, ни в твердое состояние и поэтому существенно отличающихся от паров жидкостей.

«Есть ли разница между паром и газом?» – спрашивал А. Г. Столетов в своем «Очерке развития наших сведений о газах» (1879), подходя к вопросу о сжижении газов. Столетов излагает историю развития учения о парах, формирования представлений о ненасыщенных парах, не отличающихся в своем поведении от газов, и насыщенных парах, которые не подчиняются закону Бойля – Мариотта, и, наконец, историю сжижения газов. Эта история начинается с опытов Каньяра де Латура (1777-1859), проведенных в 1822 г. Нагревая жидкости (воду, эфир, алкоголь) в запаянных трубках, он заметил, что при некоторой температуре, различной для разных жидкостей, вещество в трубке становится однородным, представляя собой густой пар. Для эфира это происходило при температуре 200°C, для спирта – около 260°C, для воды – около 360°C. Таким образом инженер-географ, а потом

чиновник министерства внутренних дел Каньяр де Латур еще в первой четверти XIX в. установил, что при определенных условиях граница между жидкостью и ее газом исчезает.

Через год молодой ассистент Дэви М. фарадей получил жидкий хлор, затем, нагревая один конец изогнутой стеклянной трубки с газом и охлаждая другой конец, обратил в жидкость девять газов, а в 1844–1845 гг. еще шесть. При этом фарадей сделал очень важный вывод из опытов Каньяра де Латура, указав, что существует температура, при которой «нельзя ожидать, что какое-либо повышение давления, исключая, быть может, чересчур сильное, могло обратить газ в жидкость».

В 1861 г. существование такой температуры было установлено Д. И. Менделеевым. Он назвал ее абсолютной температурой кипения. «Чтобы истинное значение такой температуры, – писал Менделеев в первом томе своих «Основ химии», – выступило явственно, следует обратить внимание на то, что жидкое состояние характеризуется сцеплением частиц, отсутствующим в газах и парах. Сцепление жидкостей выражается в капиллярных явлениях... и произведение из плотности жидкости на высоту ее поднятия в капиллярной трубке (определенного диаметра) может служить мерою величины сцепления... Сцепление жидкостей уменьшается при их нагревании, поэтому уменьшаются и капиллярные высоты. Опыт показывает, что это уменьшение (почти) пропорционально температуре, а потому из капиллярных наблюдений получается, что при некоторой возвышенной температуре сцепление становится равным нулю. Если в жидкости исчезает сцепление частиц – она становится газом, ибо между этими двумя состояниями нет, кроме сцепления, иного коренного различия. Преодолевая его, жидкости при испарении поглощают теплоту. Поэтому температура абсолютного кипения определена мною (1861) как таковая, при которой: а) жидкость не существует и дает газ, не переходящий в жидкость, несмотря на увеличение давления; б) сцепление = 0 и с) скрытая теплота испарения = 0».



Х. Камерлинг-
Оннес

Наблюдения Каньяра де Латура, выводы фарадея и Менделеева не получили резонанса. «Понятия эти, – писал Менделеев, – мало распространились, пока Эндрюс (Andrews, 1869) не выяснил дела с другой стороны, именно исходя из газов. Он нашел, что углекислый газ при температурах выше 31°C не сгущается ни при каких давлениях, при низких же температурах может сжижаться. Температуру эту он назвал критической. Очевидно, что она тождественна с температурой абсолютного кипения».

Томас Эндрюс родился 19 декабря 1813 г. в Белфасте. Он изучал химию в университете в Глазго. Уже вскоре после поступления в университет он в своей домашней лаборатории выполнил две химические работы. Для совершенствования своих химических познаний он едет в Париж, где работает в лаборатории Дюма и одновременно в госпитале с

целью изучения медицины. Возвратившись на родину, он продолжает образование в Дублинском колледже св. Троицы и в Ирландской медицинской школе. В 22 года он получает степень доктора медицины в Эдинбурге, а затем профессора химии в родном городе Белфасте в Королевском колледже. В 1845 г. он становится вице-президентом колледжа и занимает эту должность до выхода в отставку в 1879 г. Умер Эндрюс 26 ноября 1885 г.

Основополагающая статья Эндрюса «О непрерывности газообразного и жидкого состояний вещества» была прочитана в Лондонском Королевском обществе 17 июня 1869 г. и опубликована в 159-м томе «Philosophical Transactions of the Royal Society» за 1869 г. Эндрюс начинает ее с истории вопроса, с опытов Каньяра де Латура, исследований фарадея, Реньо, Пулье, Натерера, подвергавших газы сжатию до 2790 атмосфер. (*1 атмосфера (1 ат) равна $9,8 \cdot 100000$ Па.*) Он указывает на свою заметку 1861 г., в которой описывает попытку обратить в жидкость кислород, водород, азот, окись углерода и окись азота, подвергая их большим давлениям и одновременно охлаждению в ванне из углекислоты и эфира. Опыты дали отрицательный результат. Далее он приводит выдержку из своего письма Миллеру, опубликованную в «Химической физике» в 1863 г.: «При частичном снижении углекислоты посредством одного только давления и при постепенном повышении в то самое время температуры до 88° Фаренгейта ($31,1^\circ\text{C}$. – П.К.) поверхность раздела между жидкостью и газом делается менее резкой, теряет свою кривизну и, наконец, исчезает. В это время пространство заполнено однородным текучим веществом, в котором в случае внезапного уменьшения давления или небольшого понижения температуры обнаруживается характерное явление полос, перебегающих или волнующихся по всей его массе. При температуре выше 88° нельзя получить никакого видимого снижения углекислоты или разделения ее на две отличные друг от друга формы вещества, даже если прилагать давления в 300 или 400 атмосфер. Окись азота дала сходные результаты».

В статье 1869 г. Эндрюс подробно описывает аппаратуру, применяющуюся при исследованиях. Изменяя температуру углекислого газа от 13 до 48°C , он получил изотермы, имевшие при температурах ниже $31,1^\circ\text{C}$ характерный излом, показывающий сжижение газа и переход кривой в прямую, параллельную оси абсцисс, при полном обращении газа в жидкость. При температуре $31,1^\circ\text{C}$, которая была на $0,2^\circ$ выше температуры, названной им критической, никакого разделения газа на две части не наблюдается «и самое тщательное исследование не может открыть никакой однородности в состоянии углекислоты внутри трубки».

При дальнейшем повышении температуры изотермы непрерывно приближаются к той изотерме, «которая представляет изменение объема совершенного газа». Изменяя давление и температуру, Эндрюс добивался непрерывного перехода вещества «из состояния, которое всеми рассматривается как газообразное, в то, которое подобным же образом обычно рассматривают как жидкое...» «Дело начинается с газа и через ряд постепенных изменений, нигде не представляющих какого-нибудь резкого изменения объема или внезапного развития тепла, кончается жидкостью». Эндрюс ставит важный вопрос, что происходит с углекислотой в критическом состоянии: «Продолжает ли она оставаться в газообразном состоянии, или она превратилась в жидкость, или мы имеем дело с новым состоянием материи?» Эндрюс считает, что ответ на этот вопрос «надо найти в близких внутренних соотношениях, которые существуют между газообразными и жидкими состояниями вещества». Жидкость и газ являются различными формами одного и того же вещества, и от одной формы к другой можно перейти непрерывным изменением. Отсюда началась длительная дискуссия о природе критического состояния. Эндрюс считал, что называть ли вещество в этом состоянии жидкостью или газом – дело вкуса. Важно, что это особое переходное состояние.

Скажем несколько слов об экспериментальной технике Эндрюса. Сжатие газа производилось с помощью винта, давление при этом достигало $4 \cdot 10^7$ Па. Эндрюс работал с газами, имеющими высокую критическую температуру, и проблема получения низких

температур перед ним не стояла. Основная цель его исследования заключалась не в проблеме сжижения газов, а в доказательстве отсутствия резкого различия между паром и газом, в доказательстве возможности непрерывного перехода от газа к жидкости. Энгельс отмечал результат Эндрюса как важный момент в переходе от метафизического к диалектическому мировоззрению. В предисловии к «Анти-Дюрингу» он писал: «Прежние неизменные противоположности и резкие, непреходимые разграничительные линии все более и более исчезают. С тех пор, как было достигнуто сжижение последних «истинных» газов, как было установлено, что тело может быть приведено в такое состояние, в котором капельножидкая и газообразная формы неразличимы, – агрегатные состояния потеряли последний остаток своего прежнего абсолютного характера».(Энгельс ф. Анти-Дюринг. - Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 20, С. 13.)

Непрерывность жидкого и газообразного состояний была теоретически исследована в диссертации Ван-дер-Ваальса (1837–1923), опубликованной в 1873 г. Эта диссертация вышла вторым изданием в 1899 г., составив первую часть монографии «Непрерывность газообразного и жидкого состояний». Вторая часть этой монографии, посвященная бинарным смесям, вышла в 1900 г. В 1910 г. Ван-дер-Ваальсу «за его труды, относящиеся к уравнению состояния газов и жидкостей», была присуждена Нобелевская премия по физике.

В предисловии к своей диссертации 1873 г. Ван-дер-Ваальс писал: «Название «Непрерывность газообразного и жидкого состояний», кажется вполне подходящим, поскольку в основу рассуждений положена главная мысль, что от одного агрегатного состояния можно совершенно непрерывным образом достигнуть другого; выражаясь геометрически, это значит, что обе части изотермы принадлежат одной кривой, даже тогда, когда эти части связаны частью, которая не может быть осуществлена в действительности». «Строго говоря, – продолжает Ван-дер-Ваальс, – я хочу доказать еще больше, а именно тождественность обоих агрегатных состояний». Ван-дер-Ваальс считает, что между жидкостью и газом существует только количественное различие в большей или меньшей плотности, но не качественное.

Уравнение Ван-дер-Ваальса и его изотермы вошли во все учебники физики, и на их рассмотрении мы останавливаться не будем.

Работа Эндрюса получила широкий резонанс, и критическое состояние стало предметом исследования физиков многих стран. Существенный вклад в изучение критического состояния внесли русские физики А.Г.Столетов (1839-1896), Б. Б. Голицын (1862-1916), М.П.Авенариус (1835-1895). А.Г.Столетов в ряде статей (1882, 1892, 1893, 1894) рассмотрел и разъяснил вопросы, относящиеся к критическому состоянию, высказал существенные замечания по некоторым утверждениям. Он изучил обширную литературу по теме, начиная с работ Эндрюса и Ван-дер-Ваальса. Он отмечает, что с теоретической стороны идея Эндрюса (Столетов пишет «Андрюс») разработана Ван-дер-Ваальсом, Клаузиусом и Максвеллом, а с экспериментальной «прежде всего и более всего трудами М.П.Авенариуса и его учеников (Зайончевского, Надеждина, Страуса)». Ученик Ленца М.П.Авенариус, продолжая традиции своего учителя, в 70-х годах организует физическую лабораторию в Киевском университете. В лаборатории Авенариуса по существу впервые в России был поставлен физический практикум и студентами велись научные исследования.

Несмотря на то что, как говорил Авенариус, «помещение лаборатории мизерно до невозможности», здесь под руководством Авенариуса проделан ряд превосходных работ по физике критического состояния. Результаты исследований Авенариуса и его учеников по определению критических постоянных различных веществ вошли в мировую справочную литературу.

Вопрос о критическом состоянии тесно связан с проблемой сжижения газов. Газ никаким давлением не может быть обращен в жидкость, если он не охлажден до температуры ниже критической. Существуют различные методы сжижения газов. Адиабатический метод основан на охлаждении газа при адиабатическом расширении. Этим методом Кальете обратил в декабре 1877 г. в жидкость кислород. Кислород, сжатый в трубке

до давления 3000 атмосфер и охлажденный с помощью соответствующей смеси до -29°C , внезапно расширился, давление падало до 1 атмосферы, температура понижалась до -200°C .

Швейцарский физик Рауль Пикте (1846-1929) добился почти одновременно с Кальете сжижения кислорода, получив кислород в виде жидкости, а не тумана, как у Кальете. Пикте применял последовательное, или каскадное, охлаждение.

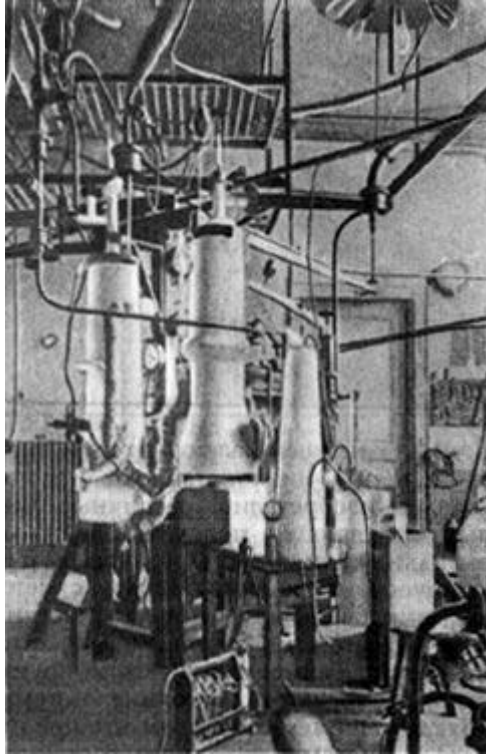


Рис. 42. Аппарат для сжижения гелия в лаборатории Камерлинг-Оннеса в Лейдене

Немецкий физик Карл Линде (1842– 1934), применив дроссельный эффект, или эффект Джоуля – Томсона, открытый этими учеными в 1852 г., построил машину для получения жидкого воздуха с производительностью несколько литров в час. Этот принцип позволил в 1898 г. Дьюару (1842–1923) охладить водород, что тщетно пытались сделать Пикте, Вроблевский, Ольшевский (1846–1915). Последние наблюдали на мгновение туман из капель водорода, но получить ощутимую порцию жидкости им не удавалось. Вроблевский (1845–1888) погиб от взрыва при опыте по сжижению водорода.

Еще труднее оказалось обратить в жидкость гелий– Х. Камерлинг-Оннес (1853–1926) смог осуществить сжижение гелия только спустя 10 лет после сжижения водорода. Первая порция жидкого гелия была получена им 10 июля 1908 г. У гелия очень низкая температура инверсии (-240°C), а дроссельное охлаждение начинается только при температуре ниже температуры инверсии. Поэтому гелий приходится предварительно охлаждать жидким водородом, а потом уже пропускать через дроссель. Этот метод оказывается очень сложным и малоэффективным, и в течение длительного времени лишь лейденская лаборатория Камерлинга-Оннеса производила жидкий гелий. В 30-х годах XX в. появились новые эффективные установки, в частности известный турбодетандер П.Л.Капицы.

Переходим теперь к теоретическим достижениям. Здесь прежде всего необходимо указать на интенсивное развитие термодинамики, которая из механической теории теплоты превратилась в мощную теоретическую дисциплину, применимую не только к механическим и тепловым, но и к другим областям физики и химии. Этой мощью термодинамика обязана общности своих понятий и методов, приложимых к любой конкретной физической системе независимо от ее структуры и состояния. Так, уже Карно нашел и успешно применил метод циклов к исследованию тепловых машин и получил результат, не зависящий от конкретного устройства машины. Метод циклов позволил Клаузиусу получить результаты термодинамики весьма общего характера.

В дальнейшем развитии термодинамики метод циклов широко использовался, изобретались различные циклы, позволяющие получить надежные выводы о том или ином физическом или химическом процессе. Наряду с методом циклов развился и аналитический метод – метод термодинамических функций. Термодинамические функции – это функции состояния системы, обладающие тем свойством, что при переходе системы от одного состояния в другое их изменение не зависит от пути перехода и дифференциал таких функций есть полный дифференциал. Такой функцией является потенциальная энергия в механике. Но еще до установления закона сохранения энергии петербургский академик Герман Иванович Гесс (1802–1850), изучая теплоту, выделяемую или поглощаемую при химических реакциях, нашел, что, «каким бы путем ни совершалось соединение – имело ли место оно непосредственно или происходило косвенным путем в несколько приемов, – количество выделившейся при его образовании теплоты всегда постоянно». Этот принцип

Гесс нашел еще в 1836 г. Он обосновал его далее экспериментально и в 1840 г. сформулировал в виде положения: «Когда образуется какое-либо химическое соединение, то при этом всегда выделяется одно и то же количество тепла, независимо от того, происходит ли образование этого соединения непосредственно или же косвенным путем».

Г. И. Гесс



Этот термохимический закон Гесса может быть выражен аналитически, если ввести функцию состояния – энтальпию, или тепловую функцию. Количество теплоты не является функцией состояния, количество теплоты, выделяемое или поглощаемое при физическом процессе, зависит от характера процесса. Но химическая реакция наблюдается в условиях постоянного давления, и в этом случае, действительно, количество теплоты не зависит от характера перехода и выражается разностью значений энтальпии.

Однако энтальпия была введена в термодинамику значительно позже 1840 г. Термодинамические функции – внутренняя энергия и энтропия – были введены Клаузиусом.

В 1869 г. Массье (1832–1896) прибавил к этим функциям две новые, которые он назвал характеристическими. Если обозначить внутреннюю энергию через U , энтропию через S , абсолютную температуру через T , объем через V , а давление через p , то функции Массье имеют вид:

$$(-U+TS)/T \text{ и } (-U+TS-pV)/T.$$

Массье показал, что из функции такого вида могут быть выведены термодинамические свойства жидкости. Дальнейший шаг был сделан американским физиком Гиббсом.

Джозайя Вилард Гиббс родился 11 февраля 1839 г. в Нью-Гевене, штат Коннектикут, в семье профессора Гейльского университета. В 1866 г. он уехал на три года в Европу, был в Париже, учился в Берлине у Магнуса, в Гейдельберге у Кирхгофа и Гельмгольца и в 1869 г. вернулся в Нью-Гевен, где в 1871 г. получил звание профессора математической физики

Д. Гиббс



Первые работы Гиббса, начиная с его докторской диссертации, были посвящены технической механике. Став профессором, он читал механику, волновую оптику, векторный анализ, теорию электричества и магнетизма. В 1873 г. появились его первые термодинамические работы «Графические методы в термодинамике жидкостей» и «Метод геометрического представления термодинамических свойств веществ при помощи поверхностей».

В первой из этих работ Гиббс развил графический метод, впервые примененный Клапейроном в теории цикла Кар-но. Клапейрон представлял процессы цикла графически в системе осей: объем – давление. Гиббс ввел диаграммы в переменных: энтропия и температура, энтропия и объем, логарифмы объема, температуры и давления. Цикл Карно в системе энтропия – температура изображался, как отмечал сам Гиббс, «чрезвычайно простой фигурой – четырехугольником, в котором стороны параллельны осям координат». Распространение графического метода на термодинамику очень ценил Максвелл, отмечая, что Гиббсу «мы обязаны тщательным исследованием различных методов представления термодинамических соотношений с помощью плоских диаграмм». Особенно восхищался Максвелл второй работой Гиббса, в которой Гиббс «предложил чрезвычайно плодотворный метод, а именно исследование свойств любого вещества при помощи поверхности». Эту термодинамическую поверхность, как ее называл Гиббс, он строил в системе осей, в которой прямоугольные координаты различных точек поверхности были равны объему, энтропии и энергии тела в его различных состояниях. Максвелл собственноручно изготовил гипсовую термодинамическую поверхность воды и послал ее Гиббсу.

Заметим, что термодинамическая поверхность воды, по Гиббсу и Ван-дер-Ваальсу, стала предметом кандидатского сочинения молодого русского физика Д. А. Гольдгаммера, которое он закончил в 1882 г. Оно было опубликовано в «Ученых записках» Московского университета в 1885 г.

В этой же работе Гиббс формулирует условие устойчивого равновесий термодинамической системы в виде минимального значения функции $U-TS+pV$ (у Гиббса: $e-Gr+pU$), которую мы теперь называем термодинамическим потенциалом Гиббса. В большом исследовании «О равновесии гетерогенных систем», публиковавшемся в 1875–1878 гг., Гиббс развил и широко применил метод термодинамических функций. Указав, что такие термодинамические функции, как энергия и энтропия, значительно облегчают понимание законов, управляемых любой термодинамической системой, Гиббс отмечает, что «разные значения энергии и энтропии в целом характеризуют то, что существенно в действиях,

производимых системой при переходе от одного состояния к другому». Он пишет далее, что функция, выражающая способность системы совершать механическую работу, «играет ведущую роль в теории равновесия». Именно здесь Гиббс, комбинируя такие функции состояния, как энтропию, которую он обозначает n), и энергию, которую он обозначает ϵ , вводит дит функцию:

$$\Psi = \epsilon - T\eta$$

(в современных обозначениях $F = U - TS$),

$$\chi = \epsilon + pV$$

(в современных обозначениях $H = U + PV$),

$$\zeta = \epsilon - T\eta + pV$$

(в современных обозначениях $\Phi = U - TS + pV$).

Первую из этих функций переоткрыл Гельмгольц в 1882 г., назвал ее «свободной энергией» и с ее помощью построил термодинамическую теорию гальванического элемента.

Вторая функция получила название энтальпии или тепловой функции. С ее помощью описывается процесс Джоуля – Томсона. Последняя функция называется термодинамическим потенциалом Гиббса.

В своем исследовании Гиббс сформулировал условия равновесия гомогенной и гетерогенной системы, состоящей из произвольного числа компонентов и фаз. Термин «фаза» введен Гиббсом, под ним он понимает тела, характеризуемые состоянием и составом, причем «мы считаем все тела отличающимися друг от друга только количеством и формой, разными образцами одной и той же фазы».

Рассматривая условия равновесия гетерогенной системы, Гиббс находит правило фаз, согласно которому система, состоящая из r фаз и p независимых компонентов, «способна к $n+2 - r$ измерениям фаз», или, как принято говорить теперь, имеет $f = n+2 - r$ степеней свободы.

Вскоре после окончания своего классического исследования, весной 1879 г. Гиббс был избран членом Национальной Академии США, в 1880 г. – членом Американской Академии наук и искусств в Бостоне. В благодарственном письме в Бостонскую Академию Гиббс, между прочим, писал: «Ведущей идеей моей работы «Равновесие гетерогенных систем» было выявление роли энергии и энтропии в теории термодинамического равновесия. При их помощи легко выразить общее условие равновесия, а приложение его к различным случаям приводит нас сразу к специальным условиям, характеризующим эти случаи».

Научная слава Гиббса быстро росла после опубликования его термодинамических работ. Он избирается членом многих зарубежных академий и научных обществ, получает научные награды. В 1902 г. вышел фундаментальный труд Гиббса «Основы статистической механики». 28 апреля 1903 г. Гиббс скончался.

После Гиббса термодинамика перестала быть только механической теорией теплоты она превратилась в весьма общую теоретическую систему, приложимую ко всем физическим и химическим процессам. Гельмгольц, применивший в 1882 г. свободную энергию к теории гальванического элемента, писал в статье «К термодинамике химических процессов»: «Наиболее исчерпывающим и общим способом термодинамические условия для молекулярных и химических процессов в системах тел, состоящих или смешанных из произвольного числа простых веществ, были развиты аналитически г-ном Д. В. Гиббсом (1878)».

М.Планк применил в 1888 г. метод Гиббса к теории разведенных растворов. Читая лекции по теоретической физике в Колумбийском университете в Нью-Йорке 24 апреля 1909 г., он говорил: «Как глубоко охватывает это предложение (принцип возрастания энтропии) все физические и химические отношения, на это лучше и полнее других было указано Джоном Виллардом Гиббсом, одним их наиболее знаменитых теоретиков всех времен не только Америки, но и всего мира».

Всеобъемлемость принципов термодинамики, в частности второго начала, заставляла физиков-теоретиков искать причины такой универсальной мощи термодинамики. В

результате в науке возникли два направления: феноменологическое и атомистическое, феноменологическое направление не считало необходимым искать более глубоких причин физических процессов, оно ограничивало задачу изучения природы описанием явлений на основе экспериментально установленных принципов. Успехи термодинамики привели к появлению энергетического направления в науке. Энергетики Гельм, Оствальд и другие считали энергию основным понятием науки, а такие понятия, как «материя», «сила», производными и даже излишними.

Что касается представления об атомах и молекулах, то энергетики, а также венский физик Эрнст Мах, один из видных сторонников феноменологического направления, считали эти представления продуктами чистой фантазии, аналогичными представлениям о ведьмах и привидениях. Раскрывать понятия и законы термодинамики с помощью молекулярно-кинетической теории они считали антинаучным занятием.

Однако такие видные представители науки, как Клаузиус, Максвелл, а затем Больцман, с успехом разрабатывали молекулярно-кинетическую теорию. Идея молекулярного движения, происходящего по законам механики, вместе с тем подсказывала мысль: обосновать термодинамику законами механики. Осуществлению этой мысли посвятили усилия Клаузиус, Гельмгольц, Больцман и др. Здесь с самого начала возникала трудность объяснения второго начала и необратимых процессов, поскольку уравнения механики обратимы. Попытка истолковать второе начало с помощью вариационного принципа Гамильтона не принесла ощутимых результатов. Но Больцману удалось получить фундаментальный результат и заложить основы статистической механики.

Людвиг Больцман родился 20 февраля 1844 г. в Вене. Учился он в университетах Вены, Гейдельберга и Берлина. Еще студентом он публикует в Вене работы: «О движении электричества в кривых поверхностях» (1865) и «О механическом истолковании второго начала теории тепла» (1866). Этой второй работой начался длительный цикл работ Больцмана по выяснению связи между термодинамикой и механикой. Цель своей работы он формулирует так: «Дать чисто аналитическое, совершенно общее доказательство второго начала теории тепла и отыскать соответствующий ему принцип механики».

Л. Больцман



В 1867г. Больцман кончает университет и публикует работу «О числе атомов в молекуле газа и внутренней работе в газе». В 1868 г. он издает большую работу «Исследование равновесия живых сил движущихся материальных точек» и другие статьи. Талант крупного теоретика настолько ясно выразился в этих ранних работах Больцмана, что в следующем, 1869 г. двадцатипятилетний Больцман избирается профессором физики в

Граце. Отметим, что в Граце Больцман руководил кафедрой экспериментальной физики, на которой была уже создана прекрасная физическая лаборатория, оборудованная всем необходимым как для научных исследований, так и для студенческого практикума. Он занимает здесь кафедру до 1873 г., затем возвращается в Вену, чтобы занять здесь кафедру математики. В Вене Больцман пробыл всего три года и в 1876 г. вновь возвращается в Грац, где остается до 1889 г. В этот период он выполняет свои важнейшие работы по статистической физике. С 1889 по 1894 г. Больцман – профессор в Мюнхене, с 1894 по 1900 г. Больцман опять в Вене, откуда уезжает на два года (1900–1902) в Лейпциг. В 1902 г. Больцман возвращается в Вену, где живет до своей смерти, последовавшей 16 сентября 1906 г.

Фундаментальным вкладом Больцмана в физику является создание статистической механики и статистического обоснования второго начала. Уже в ранней работе «Исследование равновесия живых сил движущихся материальных точек» Больцман ставит задачу «найти общую теорему для вероятности распределения положений и скоростей таких движущихся материальных точек». Для случая частиц, находящихся в сильном поле, потенциальная энергия которого зависит от координаты x и равна $f(x)$, Больцман находит, что «вероятность того, что x находится между x и $x + dx$..., пропорциональна

$$e^{-hf(x)}»$$

», и вероятность того, что скорость лежит между c и $c + dc$, «для каждого x пропорциональна

$$e^{-hf(x)}»$$

».

Таким образом, Больцман уже в возрасте двадцати четырех лет нашел закон распределения, носящий теперь его имя. Больцман, основываясь на работе Максвелла, обобщил его закон распределения, рассматривая газ в силовом поле. Дальнейшее обобщение Больцман сделал в работе «О тепловом равновесии многоатомных молекул газа». «Для случая, когда каждая молекула является одной материальной точкой, – писал Больцман, – Максвелл определил вероятность различных состояний». Больцман выписывает закон Максвелла в виде:

$$4 \sqrt{\frac{h^3}{\pi}} N e^{-hc^2} c^2 dc,$$

где N – число молекул в единице объема, c – скорость молекул, h – константа, определяемая температурой. «Но встречающиеся в природе молекулы, – писал Больцман, – отнюдь не являются простыми материальными точками. Мы, очевидно, будем ближе к действительности, если будем рассматривать их как систему нескольких материальных точек (так называемых атомов), которые удерживаются вместе определенными силами. Тогда состояние молекулы в определенный момент времени будет определяться не одной переменной, а многими». Максвелл в 1875 г. в статье «О динамическом доказательстве молекулярного строения тел» присоединяется к результатам Больцмана. Он писал: «Опубликованные мной в 1860 г. результаты подверглись затем более строгому исследованию доктора Людвиг Больцмана, применившего также свой метод к изучению движения сложных молекул». Указав на трудности теории теплоемкости, Максвелл считает, что теорема Больцмана дает возможность объяснить закон Дальтона, выравнивание температур в вертикальном столбе газа и «открывает, по-видимому, путь в чисто химическую область исследования».

Критические замечания Максвелла о кинетической теории теплоемкости также примыкают к рассуждениям Больцмана. Больцман показал, что средняя кинетическая

энергия всех атомов, которые считаются точками, одна и та же и равна $3/2h$. Отсюда для двухатомных молекул отношение теплоемкостей C_p / C_v должно равняться 1,33, а опыт дает для воздуха 1,41. Больцман считает это расхождение обусловленным взаимодействием молекул с эфиром. Максвеллу это объяснение кажется сомнительным.

В 1876 г. Больцман уточнил свою теорию теплоемкости. В статье «О природе газовых молекул» он указал на про тиворечие своей теории с опытом и сослался на обобщение его теоремы, сделанное Максвеллом и Уатсоном. Максвелл и Уатсон понимали молекулу как систему, положение которой определяется t переменными величинами, не зависящими от движения молекул. Это число t называется числом степеней свободы. Для одноатомной молекулы число степеней свободы равно 3 и отношение теплоёмкостей равно $1и2/3$. Для двухатомных молекул число степеней свободы равно пяти: «три координаты центра тяжести и две переменных, определяющих направление центральной линии молекулы». Поэтому для них оно будет $\lambda^{\wedge}/\lambda=1,4$. Если молекулу представлять как твердое тело с шестью степенями свободы, то $\lambda^{\wedge}/\lambda =1,33$.

Теорема Больцмана о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы молекулы, лежащая в основе классической теории теплоемкости, является важным результатом статистики Больцмана. Однако важнейшим результатом многолетних исследований Больцмана по кинетической теории газов было открытие им связи между энтропией и вероятностью. Упорные поиски механического обоснования второго начала термодинамики увенчались успехом. Но это обоснование потребовало введения понятия вероятности и было достигнуто на путях развития статистической механики.

Формулировка, развитие и защита «теоремы– Н», которая выражает связь между энтропией и вероятностью данного состояния системы, составили дело жизни Больцмана.

Оно началось с его юношеской работы 1866 г. и продолжалось до последней статьи «Кинетическая теория материи», написанной в сотрудничестве с Ноблем для «Математической энциклопедии». Статья была закончена в октябре 1905 г., и выпуск «Энциклопедии», в котором она была опубликована, был снабжен кратким сообщением «Памяти Людвига Больцмана», начинавшимся словами: «В этом выпуске на первом месте помещена статья Больцмана о кинетической теории материи и вместе с тем это последнее создание его рук».

Основная работа, в которой Больцман впервые формулирует свою теорему, – это работа 1872 г. «Дальнейшее исследование теплового равновесия газовых молекул». Здесь Больцман со всей четкостью утверждает, что «проблемы механической теории теплоты являются проблемами статистическими». Больцман выводит основное уравнение для функции распределения f и показывает, что существует такая функция E , зависящая от логарифма f , которая всегда убывает и лишь при достижении статистического равновесия остается постоянной. В этом состоянии равновесия функция распределения совпадает с максвелло-больцмановским распределением.

В статье 1877 г. «О связи второго начала механической теории теплоты с исчислением вероятностей» Больцман подробно развивает свой статистический метод. Он указывает в самом начале статьи, что связь между вторым началом термодинамики и исчислением вероятностей «обнаруживается прежде всего в том, что, как мною было показано, аналитическое доказательство второго начала невозможно никакими другими способами, кроме тех, которые заимствуются из теории вероятностей». Чрезвычайно интересно с исторической точки зрения введение Больцманом в этой работе гипотезы, что молекула газа может терять и приобретать только дискретные порции энергии, кратные некоторой наименьшей порции энергии ϵ . «Перед столкновением, – пишет Больцман, – каждая из обеих сталкивающихся молекул имеет живую силу 0, или ϵ , или 2ϵ и т. д. ... или $p\epsilon$ и вследствие какой-то причины будет происходить то, что и после соударения никогда ни одна из сталкивающихся молекул не принимает живой силы, не содержащейся в этом ряде». Так Больцман начинает свои статистические рассуждения, оговариваясь, однако, что это фикция, которой не соответствует ничего реального, но которая облегчает математическую трактовку

проблемы. В дальнейших вычислениях Больцман освобождается от гипотезы, полагая в пределе $\epsilon=0$.

Больцман ставит задачу найти закон распределения, который позволяет знать, как много из общего числа молекул n обладает энергией $0, \epsilon, 2\epsilon, \dots$. Он подсчитывает, сколько комбинаций соответствует такому распределению состояний, полагая, что число этих комбинаций определяет вероятность данного состояния.

Если бы Больцман считал молекулы газа неразличимыми, как это делал в квантовой теории идеального газа Эйнштейн, и сохранил предположение о конечной порции энергии, то он получил бы формулу статистики Бозе–Эйнштейна. Но Больцман этого не сделал. Он считал неразличимыми между собой молекулы, находящиеся в одном и том же энергетическом состоянии. Однако когда молекула одной энергетической группы меняется местами с молекулой другой энергетической группы, то, хотя распределение молекул не меняется, тем не менее возникает новая комплексия. Число комплексий, которым может быть осуществлено данное состояние, и определяет, по Больцману, вероятность этого состояния. Таким образом, она, по Больцману, определяется числом:

$$\frac{n!}{w_0!w_1!w_2!\dots}$$

где n - общее число молекул, w_0 - число молекул, обладающих энергией, равной нулю (Больцман считает энергию между 0 и ϵ , отступая от первоначальной квантовой гипотезы), w_1 , - число молекул, обладающих энергией ϵ (между ϵ и 2ϵ), и т. д. При этом

$$n = w_0 + w_1 + w_2 + \dots$$

и общая энергия

$$L = \epsilon w_1 + 2\epsilon w_2 + 3\epsilon w_3 + \dots$$

и общая энергия

Логарифмируя выражение для вероятности и определяя максимум этой логарифмической функции при условии постоянства n и L , Больцман находит распределение Максвелла – Больцмана, которое оказывается, таким образом, наиболее вероятным распределением. Подсчитывая наиболее вероятное распределение скоростей, Больцман вводит величину Θ , равную среднему логарифму функции распределения, взятой со знаком минус. Максимальное значение этой величины, которую Больцман называет «мерой распределения», при условии постоянства числа молекул и их общей кинетической энергии определяет наиболее вероятное распределение.

Величину, которую Больцман обозначал через E и Θ , в дальнейшем стали обозначать H , и она оказалась пропорциональной энтропии. Закон возрастания энтропии у Больцмана получает простую интерпретацию: «Система стремится к наиболее вероятному состоянию».

Второе начало потеряло характер абсолютного закона природы и стало статистическим законом. В природе возможны процессы, происходящие в направлении убывания энтропии, и это, по мнению Больцмана, избавляет Вселенную от тепловой смерти. Для космоса в целом тепловой смерти нет. Взгляды и выводы Больцмана подвергались ожесточенной критике. Но вместе с тем они воспринимались и развивались другими исследователями: Максвеллом, Лоренцем, Планком. Планк дал простой вывод и простое точное выражение соотношения между энтропией и вероятностью. В обозначениях Планка оно имеет вид:

$$S = k \ln W,$$

где S - энтропия, W - вероятность, k - постоянная, равная R/N , которую Планк назвал в

честь Больцмана постоянной Больцмана. Из соотношения Планка исчезла неопределенная аддитивная константа, фигурирующая у Больцмана, и это соответствует тепловой теореме Нернста. формула соотношения между энтропией и вероятностью, данная Планком, фигурирует сегодня во всех руководствах и монографиях как соотношение Больцмана.

В 1912 г., читая лекции по статистическим теориям термодинамики в Париже, Лоренц говорил об успехах кинетической теории газов. Он указывал, как бы подводя итоги многолетней борьбы сторонников феноменологического описания с приверженцами атомистики: «Теперь нельзя сомневаться в их существовании после того, как «реальность молекул» стала фактом, почти что «наблюдаемым» непосредственно; молекулы существуют для нас совершенно так же, как и многие другие предметы, непосредственно нами не видимые, но в существовании которых наш ум вовсе не сомневается». Далее Лоренц продолжал: «Основываясь на этих блестящих результатах, можно поставить вопрос: нельзя ли найти закон Карно – Клаузиуса при помощи молекулярных теорий, понимая, конечно, последние в очень широком смысле, так как общности результата должна каким-либо образом соответствовать общность предпосылок? Австрийскому физическому Больцману принадлежит честь первого успешного подхода к этой задаче и установление связи между понятием вероятности, определенным образом понимаемой, и термодинамическими функциями, в частности энтропией. Рядом с ним нужно считать одним из основателей этой новой ветви теоретической физики – статистической термодинамики – Уилларда Гиббса. Далее следует упомянуть работы Пуанкаре, Планка и Эйнштейна. Общий результат, который можно считать окончательно установленным, это существование связи между энтропией некоторого состояния и вероятностью этого состояния». К именам, упомянутым Лоренцем, следует добавить имена П.Эренфеста и Т. А. Афанасьевой-Эренфест, которым принадлежит ряд работ по статистической термодинамике, и в частности фундаментальная обзорная статья о принципиальных основах статистического понимания, опубликованная в «Математической энциклопедии» в 1911 г.

Все эти работы относятся к более позднему времени. Больцман же мог прочитать и оценить лишь книгу Гиббса «Основные принципы статистической механики», вышедшую в 1902 г. Он пришел также к пониманию идей Планка, как об этом писал сам Планк в своей автобиографии. Но все это происходило уже в XX в., когда физика переходила на новые пути, переживая мучительный кризис старого, «классического» понимания природы.

В период жизни Больцмана был один физик, разрабатывавший проблемы, которыми занимался и Больцман, и внимательно следивший за его работами. Это был сын знаменитого русского хирурга Н.И.Пирогова Н. Н. Пирогов (1843–1891). В ряде работ, публиковавшихся в Журнале русского физико-химического общества за 1885-1890 гг., Пирогов рассматривал проблемы кинетической теории газов и статистической термодинамики. В них он не только защитил результаты Больцмана, но и уточнил и развил их, сформулировав ряд важных идей, найденных статистической физикой позже. К сожалению, работы Пирогова, публиковавшиеся на русском языке, остались малоизвестными и не оказали своевременного влияния на развитие статистической термодинамики. Советские историки физики «открыли» Н. Н. Пирогова лишь в конце сороковых годов XX в. (См.: Спасский Б. И. Н. Н. Пирогов. – В кн.: Развитие физики в России. – М.: Просвещение, 1970, с. 300-308.)



Остановимся в заключение на развитии представлений о самом атоме. Максвелл, Клаузиус, Больцман, Гиббс, развивая физическую атомистику, искали законы, управляющие поведением коллектива атомов и молекул, делая по возможности простые гипотезы о строении самих атомов. В XIX в. единственным средством наблюдать взаимодействия атомов и определять их индивидуальные особенности были химические реакции. Именно в недрах химической атомистики родилась первая гипотеза о строении всех атомов из атомов водорода (Проут, 1815). Химия выработала учение об элементе, определила атомные веса различных атомов, установила характерные особенности различных элементов.

В 1859 г. было сделано важное открытие в оптике, физик Густав Кирхгоф (1824–1887) и химик Роберт Бунзен (1811–1899) открыли спектральный анализ, давший в руки химикам новое мощное средство исследования. Отметим, что это открытие было сделано в Гейдельбергской физической лаборатории сначала с флинт-призмой, отшлифованной самим фраунгофером, а затем со спектральным аппаратом с четырьмя фраунгоферовыми призмами, сконструированными Кирхгофом совместно с Бунзеном. Сами Кирхгоф и Бунзен методом спектрального анализа обнаружили элементы цезий (1860) и рубидий (1861). В 1861 г Крукс открыл спектроскопическим путем таллий. Через два года Райх и Рихтер обнаружили индий.

Чрезвычайно интересна история открытия гелия. Кирхгофу впервые удалось раскрыть загадку фраунгоферовых линий и показать, что они получаются в результате поглощения лучей, испускаемых Солнцем, элементами, входящими в состав солнечной атмосферы. Так было доказано присутствие на Солнце ряда химических элементов. При наблюдении во время затмения соответствующие линии ярко вспыхивают в спектре Солнца. Наблюдая в 1868 г полное солнечное затмение, французский астроном Жан сен и английский астроном Локьер независимо друг от друга открыли в спектре Солнца яркую желтую линию, не принадлежащую ни одному из известных на Земле элементов. Локьер предположил, что эта линия испускается элементом, встречающимся только на Солнце, который он предложил поэтому назвать гелий (от греческого «гелиос» – Солнце) В 1895 г. английский химик Рамзей, исследуя спектроскопически газы, выделяющиеся при обработке кислотой минерала клевета, нашел желтую линию гелия, который он в том же году выделил химически из газовой смеси.

В 1869 г. было известно 63 химических элемента. В этом же году Д.И.Менделеев открыл фундаментальный закон распределения элементов в систему, которую он назвал периодической системой химических элементов.

Д.И.Менделеев родился 8 февраля 1834 г. в семье директора Тобольской гимназии. Д.И.Менделеев учился на физико-математическом факультете Петербургского

педагогического института. Среди его учителей были известный математик М. В. Остроградский, физик Э.Х. Ленц, «отец русских химиков» А. А. Воскресенский. В этой обстановке научное дарование Менделеева развивалось быстро – и уже студентом он выполнил первую работу о химическом составе минералов ортита и пироксена. Институт он окончил с золотой медалью в 1855 г. и по состоянию здоровья вынужден был уехать в Крым, а затем в Одессу, где работал учителем гимназии. На юге здоровье Менделеева восстановилось, и в 1856 г. он вернулся в Петербург. Успешно сдав магистерские экзамены, он защитил диссертацию «Об удельных объемах». Затем он защитил диссертацию «О строении кремнеземистых соединений» на звание доцента Петербургского университета, в котором в 1857–1858 гг. читал курс теоретической и органической химии.

В январе 1859 г. Менделеев был командирован за границу. Там он работал в лабораториях Бунзена, Кирхгофа и Коппа, а также в организованной им домашней лаборатории, в которой выполнил свое исследование по абсолютной температуре кипения.

В 1860 г. Менделеев принял участие в съезде химиков в Карлсруэ, где Канницаро, к которому примкнул и Менделеев, защищал теорию Авогадро – Жерара и новое определение атомных весов. С этого съезда химики стали правильно определять атомные веса элементов, что имело огромное значение для будущего великого открытия Менделеева.

Д. И. Менделеев



После двухлетнего пребывания за границей Менделеев вернулся в Петербург и приступил к чтению курса органической химии в университете. В 1867 г. А.А.Воскресенский уехал в Харьков попечителем учебного округа, и Менделеев занял освободившуюся кафедру неорганической химии Петербургского университета. При подготовке к чтению лекций университетского курса химии Менделеев рассуждал о связи между химическими элементами и составил их картотеку, раскладывая карточки «наподобие пасьянса». Он обратил внимание на периодичность в расположении атомных весов и повторяемости свойств элементов. 17 февраля 1869 г. Д. И. Менделеев составил карточку «Опыт системы элементов», которую и разослал некоторым химикам. Сообщение Д.И.Менделеева Русскому химическому обществу «Соотношение химических свойств с атомным весом элементов» сделал 6 марта (ст. стиля) 1869 г. Н.А.Меншуткин. В этом сообщении Менделеев излагал историю вопроса и причины, побудившие его им заняться.

«Предприняв составление руководства к химии, названного «Основы химии», – писал Менделеев, – я должен был остановиться на какой-нибудь системе простых тел, чтобы в распределении их не руководствоваться случайными, как бы инстинктивными, побуждениями, а каким-либо точным началом».

Указав, что со времен Жерара и Канницаро уж нет сомнения в значении атомных

весов элементов, «как это было несколько лет тому назад, когда атомный вес столь часто смешивался с эквивалентом и определялся на основании разнородных часто противоположных начал», Менделеев пишет, что он «старался основать систему по величине атомного веса элементов». Приведя результаты предпринятых им проб, которые показали, что между естественными свойствами элементов и величиной атомного веса существует некоторое точное отношение, Менделеев заключает: «Все сличения, сделанные мною в этом направлении, приводят меня к тому заключению, что величина атомного веса определяет природу элемента настолько же, насколько вес частицы определяет свойства и многие реакции сложного тела. Если это убеждение подтвердится дальнейшим применением выставленного начала, то мы приблизимся к эпохе понимания существенного различия и причины сходства элементарных тел».

Далее Менделеев пишет: «Отныне, мне кажется, приобретается еще новый интерес в определении атомных весов, в открытии новых простых тел и в отыскании новых между ними аналогий».

Так, уже в первом наброске системы, которую сам Менделеев не считал «совершенно законченной», он ясно видел, что открытый им закон приближает эпоху «понимания существенного различия и причины сходства элементарных тел» и что он может служить путеводным началом в открытии новых, еще неизвестных элементов. Менделеев в этом сообщении со всей определенностью писал: «Должно ожидать открытия еще многих неизвестных простых тел, например сходных с Al и Si элементов с паем 65–75».

В качестве первого вывода из своего исследования Менделеев записал: «Элементы, расположенные по величине их атомного веса, представляют явственную периодичность их свойств». Такова первая формулировка периодического закона, сыгравшего фундаментальную роль в истории атомной и ядерной физики.

Менделеев продолжал работать над развитием и укреплением своего закона. 3 декабря 1870 г. он выступил в заседании Русского химического общества с сообщением «Естественная система элементов и ее применение к указанию свойств некоторых элементов». Он предсказал существование экабора, открытого шведским химиком Ниль-соном в 1879 г., названного скандием, экаалюминия, открытого французским химиком Лекок де Буабодраном под названием талий в 1875 г., и экакремния, открытого в 1886 г. немецким химиком Винклером под названием германий.

Открытие периодического закона и предсказание на его основе новых элементов было высоко оценено Энгельсом, который назвал открытие Менделеева научным подвигом и сравнил его с предсказанием Леверье планеты Нептун. Это была очень высокая оценка – закон Менделеева оказался по своей точности и силе сравнимым с законами небесной механики. Эта оценка оправдалась и в дальнейшей истории закона: со времени его открытия было найдено свыше сорока новых элементов с самыми различными свойствами, и все они оказались включенными в систему Менделеева, а при открытии трансурановых элементов она служила руководящей нитью.

Американские ученые во главе с Сиборгом, открыв в 1955 г. элемент № 101, назвали его менделевий «в знак признания пионерской роли великого русского химика Дмитрия Менделеева, который первым использовал периодическую систему для предсказания химических свойств еще не открытых элементов – принцип, который послужил ключом для открытия последних, или трансурановых элементов».

Великий автор периодического закона отличался необычайной разносторонностью и широтой научной и общественной деятельности. Он был профессором Петербургского университета, в котором совместно с А. М. Бутлеровым и Н. А. Меншуткиным провел всю подготовительную работу по созданию новой химической лаборатории, которая была построена в 1891–1894 гг., когда А.И.Менделеева уже не было в университете. Он был вынужден уйти из университета в начале 1890 г. в знак протеста против действий министерства народного просвещения в связи со студенческими волнениями.

В 1893 г. А. И. Менделеев был назначен хранителем Палаты мер и весов, которая под

его руководством превратилась в первоклассное научно-метрологическое учреждение – Главную палату мер и весов, ныне Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии и стандартизации (ВНИИМС).

Д. И. Менделеева глубоко интересовало развитие промышленности и экономики России. Этому он посвятил немало трудов, активно участвуя в различных правительственных комиссиях, в том числе и по выработке таможенного тарифа. Нефтяное дело, металлургия, заводское дело, земледелие, промышленное развитие России, ее народонаселение – все интересовало ученого, везде он оставил свой неизгладимый след.

Кипучая, разносторонняя деятельность Дмитрия Ивановича Менделеева оборвалась в 1907 г. 20 января 1907 г. он скончался в Петербурге от воспаления легких.

С открытием спектрального анализа и периодического закона химических элементов стало ясно, что атом представляет сложную структуру с внутренними движениями его составных частей, порождающих характерные спектры. Но прежде чем приступить к изучению этой структуры, физике предстояло сделать новый шаг в развитии электромагнитной теории. Этот шаг был сделан Максвеллом.

Возникновение и развитие теории электромагнитного поля

Гипотеза поперечных световых волн Френеля поставила перед физикой ряд трудных проблем, касающихся природы эфира, т. е. той гипотетической среды, в которой распространяются световые колебания. Перед этими проблемами отступили на задний план и вопросы, касающиеся природы материальных частиц, испускающих световые волны, и задача отыскания механизма излучения в атомах и молекулах.

Нужно было ответить на такие вопросы: в каком направлении совершаются колебания в линейно поляризованной волне? Почему нет продольных световых волн и какими свойствами должен обладать эфир, чтобы допускать только поперечные волны? И наконец, как ведет себя эфир по отношению к телам, движущимся через него?

В послепренелевской оптике поискам ответов на эти вопросы было уделено значительное внимание. При ответе на первый вопрос было сделано две гипотезы: гипотеза Френеля и гипотеза Франца Неймана (1798–1895). Согласно гипотезе Френеля, световые колебания в линейно поляризованной волне происходят в направлении, перпендикулярном направлению плоскости поляризации. При этом эфир в весомых телах и свободный эфир отличаются своей плотностью, упругость же его остается неизменной. По гипотезе Неймана, колебания эфира совершаются в плоскости поляризации, эфир в весомых телах и свободный эфир различаются упругостью, а не плотностью.

Для объяснения поперечности световых волн предлагались различные гипотезы: гипотеза абсолютно несжимаемого эфира, эфира, подобного сапожному вару, – твердому для быстрых изменений и текучему для медленных изменений, эфира как среды, наполненной гироскопами, и т. д. и т. п. По отношению к движущимся телам эфир рассматривался как неподвижная среда, как среда, частично увлекаемая телами, как среда, полностью увлекаемая. Все эти странные, противоречивые гипотезы отнимали у физиков немало сил, и все же ученые даже не ставили такого вопроса: а не бесплодны ли эти попытки? Существует ли вообще эфир?

Существование эфира казалось несомненным после крушения корпускулярной теории света. Должна же быть среда, в которой распространяются световые колебания. «Явления света после неудачной «теории истечения» объясняются как колебания малейших частиц светящихся тел – колебания, которые передаются волнами эфира». Такими словами начинал раздел «физическая оптика» своего учебника «Введение в акустику и оптику» А. Г. Столетов. И это была общепринятая точка зрения. Столетов далее в нескольких пунктах обосновывает «необходимость допустить эту особую среду», т. е. эфир. Он уже знает об электромагнитной теории света, знает, что «световые волны суть поперечные волны «электрических колебаний» эфира, и хотя для него еще неясно, в чем состоит механизм этих

колебаний, тем не менее он не сомневается в том, что носителем этих колебаний служит эфир.

Лекции по акустике и оптике Столетов читал в 1880–1881 гг. «Введение в акустику и оптику» вышло в 1895 г. В 1902 г. вышла вторая часть «Курса физики» Н.А.Умова. В ней раздел, посвященный оптике, начинался словами: «Еще сравнительно недавно тонкая невесомая материя, проникающая тела и наполняющая все пространство, называемая эфиром, считалась местом исключительно одних световых явлений. В настоящее время мы рассматриваем свет только как частный случай явлений, возможных в эфире».

За год до выхода в свет «Введения» Столетова, в 1894 г., был издан на немецком языке курс электричества П. Друде (1863–1906), носящий заглавие «физика эфира на электромагнитной основе». В 1901–1902 гг. Г. А. Лоренц читал в Лейденском университете курс лекций «Теория и модели эфира». Они были изданы на голландском языке в 1922 г., в английском переводе в 1927 г. и на русском языке в 1936 г., т. е. тогда, когда эфир был давно уже похоронен теорией относительности. Лоренц в заключительных словах своих лекций осторожно писал: «В последнее время механическое объяснение происходящих в эфире процессов все более отступает на задний план». Однако он полагал, что механические аналогии «все же сохраняют некоторое значение» «Они, – писал Лоренц, – помогают нам думать о явлениях и могут явиться источником идей для новых исследований».

Эта надежда Лоренца была опрокинута развитием современной теоретической физики, выбросившей за борт наглядные модели и заменившей их математическим описанием. Парадоксальным является тот исторический факт, что этот процесс перехода к математическому описанию начал Максвелл, закладывавший основы своей электромагнитной теории, разрабатывая конкретные механические модели процессов в эфире. Обсуждая эти модели, Максвелл пришел к установлению уравнений, отражающих немеханические процессы электромагнитных явлений. Подводя в «Трактате по электричеству и магнетизму» итоги своих многолетних исследований по теории электричества и магнетизма, Максвелл констатирует, что «внутренние взаимосвязи различных отраслей подлежащей нашему изучению науки значительно более многочисленны и сложны, чем любой до сих пор разработанной научной дисциплины», в том числе, очевидно, и механики. Более того, Максвелл пишет, что законы науки об электричестве, «по-видимому, указывают на особую ее важность как науки, помогающей объяснить природу». Значит, наряду с механикой теория электричества, по Максвеллу, является фундаментальной наукой, «помогающей объяснить природу». «Исходя из этого, – говорит Максвелл, – мне представляется, что изучение электромагнетизма во всех его проявлениях как средство движения науки вперед всегда приобретает особую важность». Со времени гениальных открытий Фарадея широко продвинулось дело технических приложений электричества. К моменту создания «Трактата» получил широкое распространение электромагнитный телеграф, появились линии дальней связи: трансатлантический кабель, связавший Европу и Америку (1866), индоевропейский телеграф, связавший Лондон и Калькутту (1869), линия связи Европы с Южной Америкой (1872).

Появились и первые генераторы электрического тока: Кромвель и Варли (1866), Сименс (1867), Уитстон (1867), Грамм (1870–1871), а также электродвигатели, начиная с двигателя русского академика Бориса Семеновича Якоби (1834) и кончая двигателем с кольцевым якорем Пачинотти (1860). Наступала эпоха электротехники. Но Максвелл имеет в виду не только и не столько быстрый прогресс электротехники. Электромагнитные процессы все глубже проникали в науку: в физику и химию. Наступала эпоха электромагнитной картины мира, сменившей механическую.

Максвелл ясно видел фундаментальное значение электромагнитных законов, осуществив грандиозный синтез оптики и электричества. Именно ему удалось свести оптику к электромагнетизму, создав электромагнитную теорию света и проложив тем самым новые пути не только в теоретической физике, но и в технике, подготовив почву для радиотехники.

Джемс Клерк Максвелл принадлежал к знатному шотландскому роду. Его отец Джон

Клерк, принявший фамилию Максвелл, был человеком с разносторонними культурными интересами, путешественник, изобретатель, ученый. 13 июня 1831 г. в Эдинбурге у Максвеллов родился сын Джеймс, будущий великий физик. Он рос прирожденным естествоиспытателем. Отец поощрял любознательность сына, сам познакомил его с астрономией, учил наблюдать небесные светила в зрительную трубу. Он хотел готовить сына в университет дома, но переменял намерение и отдал его в Эдинбургскую академию, среднее учебное заведение типа классической гимназии, когда Максвеллу было 10 лет. До пятого класса Джеймс учился без особого интереса. Лишь с пятого класса он увлекся геометрией, мастерил модели геометрических тел, придумывал свои методы решения задач. Еще будучи пятнадцатилетним учеником, он представляет в Эдинбургское Королевское общество исследование об овальных кривых. Этой юношеской статьей 1846 г. открывается двухтомное собрание научных статей Максвелла.

В 1847 г. Максвелл поступил в Эдинбургский университет. К этому времени его научные интересы определились, он увлекся физикой. В 1850 г. он сделал в Эдинбургском Королевском обществе доклад о равновесии упругих тел, в котором, между прочим, доказал известную в теории упругости и сопротивлении материалов «теорему Максвелла». В этом же году Максвелл переводится в Кембриджский университет, в знаменитый Тринити-колледж, воспитавший для человечества Ньютона и многих других известных физиков.

В 1854 г. Максвелл вторым выдерживает выпускной экзамен. Он пишет своему старшему другу Вильяму Томсону письмо, в котором сообщает, что, «вступив в ужасное сословие бакалавров», решил «вернуться к физике» и прежде всего «атаковать электричество». Он размышляет над кривизной поверхностей, цветным зрением и «Экспериментальными исследованиями Фарадея». Уже в 1855 г. он посылает в Эдинбургское Королевское общество доклад «Опыты по цвету», конструирует цветовой волчок, разрабатывает теорию цветного зрения. В этом же году он начал работать над мемуаром «О фарадеевых силовых линиях» (1855–1856), первую часть которого он доложил Кембриджскому философскому обществу в 1855 г.

В 1856 г. умирает отец Максвелла, бывший ему не только отцом, но и близким другом. В этом же году Максвелл получает профессию в Абердинском университете в Шотландии. Новая должность и заботы о наследственном имении отнимали много времени. Тем не менее Максвелл интенсивно работает в науке. В 1857 г. он посылает фарадею свой мемуар «О фарадеевских силовых линиях», очень тронувший фарадея. «Ваша работа приятна мне и оказывает мне большую поддержку»,—писал он Максвеллу, Фарадей не ошибся: Максвелл оказал огромную поддержку его идеям, он достойно завершил дело фарадея.

Эйнштейн сравнивает имена Галилея и Ньютона в механике с именами фарадея и Максвелла в науке об электричестве. Действительно, аналогия здесь вполне уместна. Галилей положил начало механике, Ньютон ее завершил. Оба они отталкивались от системы Коперника, ища ее физическое обоснование, которое в конце концов и было найдено Ньютоном.

Фарадей по-новому подошел к изучению электричества и магнитных явлений, указывая на роль среды и вводя концепцию поля, описываемого им с помощью силовых линий. Максвелл придал идеям математическую завершенность, ввел точный термин «электромагнитное поле», которого еще не было у фарадея, сформулировал математические законы этого поля. Галилей и Ньютон заложили основы механической картины мира, фарадей и Максвелл—основы электромагнитной картины мира.

Электромагнитную теорию Максвелл развивает в работах «О физических линиях силы» (1861–1862) и «Динамическая теория поля» (1864–1865). Эти работы он писал уже не в Абердине, а в Лондоне, где получил профессию в Кинг-колледже. Здесь Максвелл встретился и с фарадеем, который был уже стар и болен. Максвелл, получив данные, подтверждающие электромагнитную природу света, послал их фарадею. Максвелл писал: «Электромагнитная теория света, предложенная им (фарадеем) в «Мыслях о лучевых вибрациях» (Phil. Mag., май 1846) или «Экспериментальных исследованиях» (Exp. Res., p.

447), - это по существу то же, что я начал развивать в этой статье («Динамическая теория поля» –Phil. Mag., 1865), за исключением того, что в 1846 г. не было данных для вычисления скорости распространения. Дж.К.М.». Максвелл признавал приоритет Фарадея в этом открытии. Максвелл не мог знать о запечатанном письме фарадея 1832 г. и ссылаясь на его статью, опубликованную в 1846 г. Но он со всей определенностью утверждал, что фарадей уже высказал то, что он дал в своей «Динамической теории поля», за исключением количественных данных о совпадении скорости распространения света с постоянным отношением электромагнитной и электростатической единиц заряда и тока.

В 1865 г., когда появилась «Динамическая теория поля», с Максвеллом произошел несчастный случай во время верховой езды. Он оставляет профессию в Лондоне и уезжает в свое имение Гленлэр, где продолжает статистические исследования, начатые им еще в 1859 г.

В 1871 г. произошло важное событие. На средства потомка известного ученого XVIII в. Генри Кавендиша – герцога Кавендиша была учреждена кафедра экспериментальной физики в Кембриджском университете и начата постройка будущей знаменитой лаборатории Кавендиша. Максвелл был приглашен первым профессором Кавендиша. 8 октября 1871 г. он прочитал свою инаугуральную лекцию о функциях экспериментальной работы в университетском образовании. Лекция оказалась программой всей будущей деятельности лаборатории в обучении экспериментальной физике. В этой деятельности Максвелл видит требование времени.

«Мы должны начать в лекционном зале с курса лекций в какой-нибудь отрасли физики, пользуясь опытами как иллюстрацией, и закончить в лаборатории рядом исследовательских опытов». Максвелл высказывает важные мысли о назначении преподавателя. Главное для преподавателя – это сконцентрировать внимание студента на проблеме. Полемизуя с противниками экспериментального обучения, Максвелл заявляет, что если человек увлекается проблемой, вкладывает всю душу в разрешение ее, если он понял главную пользу математики в применении ее для объяснения природы, то не будет нанесен ущерб основной специальности, не смутят экспериментальные знания веру в формулы учебников, студент не будет чрезмерно утомляться.

Д. Максвелл



Максвелл начал свою деятельность в Кембридже с чтения лекций по теплоте. Много времени он отдавал вопросам строительства и организации лаборатории. Он изучал опыт создания лабораторий за границей и в своей стране, посетил лабораторию Томсона, Кларендонскую лабораторию. Кларендонская лаборатория послужила в значительной мере образцом для Кембриджской. 16 июня 1874 г. произошло открытие лаборатории.

Лаборатория представляла собой основательное трехэтажное здание. В нижнем этаже были расположены комнаты для исследований по магнетизму, маятникам, теплоте. Здесь помещались кладовые, кухня, гостиная. На втором этаже – большая лаборатория, комната и лаборатория профессора, лекционная и комната для аппаратуры. На верхнем этаже были расположены лаборатория акустики, комнаты для вычислений и графических построений, лучистой теплоты, оптики, электричества и темная комната для фотографических работ. Все столы лаборатории покоились на балках, независимых от пола, что позволяло производить очень тонкие эксперименты. На крыше лаборатории был укреплен металлический шест. Все аудитории присоединялись к нему, так что в любой момент можно было измерить потенциал атмосферно-о электричества. Подъемные двери в полах лаборатории делали возможным тянуть провода между этажами, подвесить маятник Фуко и т. п. Конечно, во всех лабораториях были газ, вода, свет.

Спустя три года после открытия лаборатории Максвелл писал, что она включает все «инструменты, требуемые настоящим состоянием науки». Список этих приборов был опубликован. По поводу этого списка Дж. Дж. Томсон говорил в 1936 г.: «Это поразительный пример различия приборов, которые тогда считались совершенными, с теми, какие имеются сейчас».

Кавендишская лаборатория, ставшая впоследствии крупным центром физической науки, многим обязана своему первому профессору. У Максвелла была трудная задача – создание новой кафедры экспериментальной физики. Новое всегда с трудом пробивает себе дорогу. Наставники студентов последних курсов отговаривали их идти в лабораторию. Этим объясняется то, что на первых порах в лабораторию приходило мало людей. Сюда вначале пришли те, кто сдал математический гриппос и желал получить навыки практической работы (В. Хик, Г. Кристал, С. Саундер, Д. Гордон, А. Шустер).

Так, Георг Кристал (1851-1911), позднее профессор математики Эдинбургского университета, проверял справедливость закона Ома (эксперимент, подобранный ему Максвеллом). Необходимость этой проверки возникла оттого, что были исследования, которые бросали тень сомнения на справедливость этого закона. Максвелл писал Кэмпбеллу, что Кристал «...непрерывно работал с октября, проверяя закон Ома, и Ом вышел из испытаний с триумфом».

Так же Кристал и С. Саундер в отчете Британской Ассоциации докладывали о результатах сравнения единиц сопротивления с единицами Британской Ассоциации – трудных исследования х, которые позднее продолжили Глазб-рук и Флеминг. Позднее, в рэлеевское время, эти исследования распространились на всю область электрических измерений и сделали Кавендишскую лабораторию центром по установлению стандартов электрических единиц.

Вообще все работающие у Максвелла, прежде чем приступить к оригинальным исследованиям, проходили небольшой общий практикум, изучали приборы, измеряли время, учились делать отсчеты и др., т. е. Максвелл закладывал основы будущего общего практикума лаборатории.

Трудно переоценить значение деятельности Максвелла для будущего развития Кавендишской лаборатории. Вильям Томсон в 1882 г. писал: «Влияние Максвелла в Кембридже имело несомненный большой эффект в направлении математического обучения в более плодотворные каналы, чем те, в которых они текли многие годы. Его опубликованные научные статьи и книги, его работа как экзаменатора в Кембридже, его профессорские лекции – все содействовало этому эффекту. Но выше всего его работа в планировании и устройстве Кавендишской лаборатории. Здесь, в самом деле, взлет физической науки в Кембридже в течение последних десяти лет, и это целиком обусловлено максвелловским влиянием».

В должности кавендишского профессора Максвелл вел большую научную и педагогическую работу. В 1873 г. вышел его главный труд «Трактат по электричеству и магнетизму». Он начал писать популярное изложение своей теории «Электричество в

элементарном изложении», но закончить его не успел. Будучи в должности кавендишского профессора, Максвелл извлек из архива неопубликованные работы Кавендиша, в том числе его работу, где он за несколько лет до Кулона открыл закон электрических взаимодействий.

Максвелл повторил опыт Кавендиша с более точным электрометром и подтвердил закон обратной пропорциональности квадрату расстояния с высокой степенью точности. Мемуары Генри Кавендиша со своими комментариями Максвелл опубликовал в 1879 г. В этом же году 5 ноября Максвелл скончался от рака.

Максвелл был разносторонним ученым: теоретиком, экспериментатором, техником.

Но в истории физики его имя прежде всего ассоциируется с созданной им теорией электромагнитного поля, которая так и называется теорией Максвелла или максвелловской электродинамикой. Она вошла в историю науки наряду с такими фундаментальными обобщениями, как ньютоновская механика, релятивистская механика, квантовая механика, и знаменовала собой начало нового этапа в физике. В соответствии с законом развития науки, сформулированным Аристотелем, она поднимала познание природы на новую, высшую ступень и вместе с тем была более непонятной, абстрактной, чем предшествующие теории, «менее явной для нас», по выражению Аристотеля.

Это обстоятельство обусловило сравнительно долгое неприятие теории Максвелла физиками, и только после опытов Герца началось ее признание. Она получила «права гражданства» в физике после опыта Майкельсона, после первых работ Лоренца по электронной теории. Таким образом, ее усвоение совпало с началом создания электронной и релятивистской физики. История созданной Максвеллом теории переплетается с историей этих областей физики, ведущих к ее современному состоянию.

Максвелл начал разрабатывать свою теорию в 1854 г. 20 февраля этого года он в письме к своему старшему другу В. Томсону пишет о своем намерении «атаковать электричество». В письме из Кембриджа от 13 ноября 1854 г. он пишет, что ему, «новичку в электричестве», удалось разрешить «огромную массу сомнений», используя немного простых идей. «Я достаточно легко получил фундаментальные принципы электричества напряжения» (т. е. электростатики), – говорит он и сообщает Томсону, что ему очень помогла аналогия с теплопроводностью, найденная Томсоном. Далее Максвелл сообщает, что хотя он восхищался, читая труды Ампера, но хотел бы сам исследовать его воззрения «философски». Ему кажется, что метод магнитных силовых линий фарадея очень полезен для этой цели, однако другие предпочитают пользоваться понятием непосредственного притяжения элементов тока. Максвелл разрабатывает картину магнитных силовых линий, генерируемых током, говорит о магнитном поле, вводит соответствующие понятия и пишет математические уравнения.

Мысли, высказанные Максвеллом в этом письме, были разработаны в первой его работе «О фарадеевских силовых линиях», написанной в Кембридже в 1855–1856 гг. Он ставит целью этой работы «показать, каким образом непосредственным применением идей и методов фарадея лучше всего могут быть выяснены взаимные отношения различных классов открытых им явлений». В работе «О фарадеевских силовых линиях» Максвелл строит гидродинамическую модель среды, передающей электрические и магнитные взаимодействия. Ему удается описать стационарные процессы с помощью наглядной картины движущейся жидкости. Заряды и магнитные полюса в этой картине представляют собой источники и стоки текущей жидкости. «Я старался, – писал Максвелл, – ...представить математические идеи в наглядной форме, пользуясь системами линий или поверхностей, а не употребляя только символы, которые и не особенно пригодны для изложения взглядов фарадея и не вполне соответствуют природе объясняемых явлений».

Однако для описания индукционных процессов фарадеевского электротонического состояния модель оказалась непригодной, и Максвелл вынужден прибегнуть к математической символике. Он характеризует электротоническое состояние с помощью трех функций, которые называет электротоническими функциями или составляющими электротонического состояния. В современных обозначениях эта векторная функция

соответствует вектору-потенциалу. Криволинейный интеграл этого вектора вдоль замкнутой линии Максвелл называет «полной электротонической интенсивностью вдоль замкнутой кривой». Для этой величины он находит первый закон электротонического состояния: «Полная электротоническая интенсивность вдоль границы элемента поверхности служит мерой количества магнитной индукции, проходящей через этот элемент, или, другими словами, мерой числа магнитных силовых линий, пронизывающих данный элемент». В современных обозначениях этот закон может быть выражен формулой:

$$\oint A_t dl = \oint B_n dS = \Phi,$$

где A - компонента вектора потенциала в направлении элемента кривой dl , B_n ~ нормальная компонента вектора индукции B в направлении нормали к элементу поверхности dS .

Далее Максвелл пишет «уравнение магнитной проводимости»:

$$\vec{B} = \mu \vec{H},$$

связывающее магнитную индукцию B с вектором напряженности магнитного поля H .

Третий закон связывает напряженность магнитного поля H с силой создающего ее тока I . Максвелл формулирует его так: «Полная магнитная интенсивность вдоль линии, ограничивающей какую-нибудь часть поверхности, служит мерой количества электрического тока, протекающего через эту поверхность». В современных обозначениях это предложение описывается формулой

$$\oint \vec{H}_t dl = I,$$

которая ныне называется первым уравнением Максвелла в интегральной форме. Она отражает экспериментальный факт, открытый Эрстедом: ток окружен магнитным полем.

Четвертый закон – это закон Ома:

$$\vec{j} = \lambda \vec{E}.$$

Для характеристики силовых взаимодействий токов Максвелл вводит величину, называемую им магнитным потенциалом. Эта величина подчиняется пятому закону:

«Полный электромагнитный потенциал замкнутого тока измеряется произведением количества тока на полную электротоническую интенсивность вдоль цепи, считающую в направлении тока:

$$U = I \oint A_t dl = I \Phi$$

».

Шестой закон Максвелла относится к электромагнитной индукции:

«Электродвижущая сила, действующая на элемент проводника, измеряется производной по времени от электротонической интенсивности, независимо от того, обусловлена ли эта производная изменением величины или направления электротонического состояния». В современных обозначениях этот закон выражается формулой:

$$\oint E_l dl = - \frac{d}{dt} \oint A_l dl = - \frac{d\Phi}{dt}$$

представляющей собой второе уравнение Максвелла в интегральной форме. Заметим, что электродвижущей силой Максвелл называет циркуляцию вектора напряженности электрического поля. Максвелл обобщает закон индукции фарадея – Ленца– Неймана, считая, что изменение во времени магнитного потока (электротонического состояния) порождает вихревое электрическое поле, существующее независимо от того, есть ли замкнутые проводники, в которых это поле возбуждает ток, или нет. Обобщения же закона Эрстеда Максвелл пока не дает.

формулировку шести законов Максвелл заканчивает следующими словами: «Я сделал попытку дать в этих шести законах математическое выражение той идеи, которая, по моему мнению, лежит в основе хода мыслей фарадея в его «Экспериментальных исследованиях».

Это утверждение Максвелла совершенно справедливо, как справедливо и другое утверждение, что введение «математических функций для выражения фарадеевского электротонического состояния и для определения электродинамических потенциалов и электродвижущих сил» сделано им впервые.

Следующий шаг в развитии теории электромагнитного поля Максвелл сделал в 1861–1862 гг., опубликовав ряд статей под общим заглавием «О физических силовых линиях». И здесь Максвелл прибегает к механической модели электромагнитного поля. Но эта модель значительно сложнее, чем картина поля скоростей движущейся жидкости, которую он разрабатывал в предыдущей работе. Максвелл разрабатывал эту модель, используя в полной мере свой талант механика и конструктора, и пришел к своим знаменитым уравнениям. «Максвелл, – писал Больцман, – нашел свои уравнения в результате стремления доказать при помощи механических моделей возможность объяснения электромагнитных явлений, исходя из концепции близко действия, и только эти модели впервые указали путь к тем экспериментам, которые окончательно и решительно установили факт близко-действия и в настоящее время образуют наиболее простой и наиболее достоверный фундамент найденных другим путем уравнений».

Найти уравнения Максвелла нетрудно, но «вывести» их невозможно, так же как невозможно вывести законы Ньютона. Конечно, и уравнения Ньютона и уравнения Максвелла могут быть выведены из других принципов, которые приходится принимать без доказательства, но эти принципы, как и сами уравнения Максвелла или Ньютона, представляют собой обобщения опыта. «Теория Максвелла – это уравнения Максвелла», – сказал Герц.

В «физических линиях силы» Максвелл прежде всего обосновывает выражение силы, действующей на каждый элемент среды, в которой находятся заряды, токи, магниты. Максвелл мыслит среду заполненной молекулярными вихрями, силы, действующие в этой среде в одной и той же точке, зависят от направления, они носят, как мы теперь говорим, тензорный характер. Далее Максвелл записывает свои знаменитые уравнения. Новым по сравнению с работой о фарадеевских линиях силы здесь является четкое установление связи между изменениями магнитного поля и возникновением электродвижущей силы. Его уравнение (точнее, «триплет» уравнений для компонентов) определяет «отношения между изменениями состояния магнитного поля и электродвижущими силами, ими обусловленными».

Другой важной новостью является введение понятий смещения и токов смещения. Смещение, по Максвеллу, – это характеристика состояний диэлектрика в электрическом поле. Полный поток смещения через замкнутую поверхность равен алгебраической сумме зарядов, находящихся внутри поверхности. «Это смещение, – пишет Максвелл, – не представляет собой настоящего тока потому, что, достигнув определенной величины, оно остается постоянным. Но это есть начало тока, и изменения смещения образуют токи в

положительном или отрицательном направлении в зависимости от того, увеличивается смещение или уменьшается». Так вводится фундаментальное понятие тока смещения. Этот ток, так же как и ток проводимости, создает магнитное поле. Поэтому Максвелл обобщает то уравнение, которое ныне называется первым уравнением Максвелла, и вводит в первую часть ток смещения. В современных обозначениях это уравнение Максвелла имеет вид:

$$\operatorname{rot}\vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}.$$

Далее Максвелл считает поле носителем энергии, которая распространяется по всему объему. Энергия электрического поля выражается следующей формулой:

$$W = \frac{1}{8\pi} \int (\epsilon E^2 + \mu H^2) dV.$$

И наконец, Максвелл находит, что в его упругой среде распространяются поперечные волны со скоростью света. Этот фундаментальный результат приводит его к важному выводу: «Скорость поперечных волновых колебаний в нашей гипотетической среде, вычисленная из электромагнитных опытов Кольрауша и Вебера, столь точно совпадает со скоростью света, вычисленной из оптических опытов физико, что мы едва ли можем отказаться от вывода, что свет состоит из поперечных колебаний той же самой среды, которая является причиной электрических и магнитных явлений. Таким образом, в начале 60-х годов XIX в.

Максвелл уже нашел основы своей теории электричества и магнетизма и сделал важный вывод о том, что свет представляет собой электромагнитное явление.

Продолжая разработку теории, Максвелл в 1864–1865 гг. опубликовал свою «Динамическую теорию поля». В этой работе теория Максвелла принимает завершённый вид и новый объект научного исследования, введенный Фарадеем, – электромагнитное поле – получает точное определение. «Та теория, которую я предлагаю, – пишет Максвелл, – может быть названа теорией электромагнитного поля, потому что она имеет дело с пространством, окружающим электрические или магнитные тела, и она может быть названа также динамической теорией, поскольку она допускает, что в этом пространстве имеется материя, находящаяся в движении, посредством которой и производятся наблюдаемые электромагнитные явления.

Электромагнитное поле – это та часть пространства, которая содержит в себе и окружает тела, находящиеся в электрическом или магнитном состоянии».

Таково первое в истории физики определение электромагнитного поля, Фарадей не употребляет термина «поле», он говорит о реальном существовании физических линий силы. Только со времени Максвелла в физике появляется понятие поля, которое служит носителем электромагнитной энергии.

Для описания поля Максвелл вводит скалярные и векторные функции координат.

Векторы он обозначает заглавными буквами немецкого готического шрифта, но в вычислениях оперирует с их компонентами. Векторные уравнения он расписывает в координатах, получая соответствующие тройки («триплеты») уравнений.

В «Трактате по электричеству и магнетизму» он дает сводку главных величин, используемых в его электромагнитной теории. Термины, обозначения, самый смысл, вкладываемый Максвеллом в содержание вводимых понятий нередко значительно отличаются от современных. Так, величина «электромагнитный момент», или «электромагнитное количество движения» в точке, играющая в концепции Максвелла фундаментальную роль, в современной физике, является вспомогательной величиной, вектор – потенциалом A . Правда, в квантовой теории она вновь получила фундаментальное

значение, но экспериментальная физика, радиотехника и электротехника придают ей чисто формальное значение.

В теории Максвелла эта величина связана с магнитным потоком. Циркуляция вектора-потенциала по замкнутому контуру равна магнитному потоку через поверхность, охватываемую контуром. Магнитный поток обладает инерционными свойствами, и электродвижущая сила индукции по правилу Ленца пропорциональна скорости изменения магнитного потока, взятого с обратным знаком. Отсюда напряженность индукционного электрического поля:

$$\vec{E} = - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}.$$

Максвелл считает это выражение аналогичным выражению для силы инерции в механике:

$$\vec{F} = - \frac{d\vec{p}}{dt},$$

где

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

- механический импульс, или количество движения. Эта аналогия объясняет термин, введенный Максвеллом для вектор-потенциала. Сами уравнения электромагнитного поля в теории Максвелла имеют вид, отличный от современного.

В современной форме система уравнений Максвелла имеет следующий вид:

$$\vec{B} = \text{rot} \vec{A}, \quad (1)$$

$$\vec{E} = [\vec{v}\vec{B}] - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \text{grad } \psi. \quad (2)$$

Этими уравнениями вектор магнитной индукции \vec{B} и вектор напряженности электрического поля \vec{E} выражаются через векторный потенциал \vec{A} и скалярный потенциал ψ . Максвелл выписывает далее выражение пондеромоторной силы \vec{f} , действующей со стороны поля с магнитной индукцией \vec{B} на единицу объема проводника, обтекаемого током с плотностью \vec{j} :

$$\vec{f} = [\vec{j}\vec{B}]$$

К этому выражению он добавляет «уравнение намагничивания »:

$$\vec{B} = \vec{H} + 4\pi I$$

и «уравнение электрических токов» (ныне первое уравнение Максвелла):

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Связь между вектором смещения D и напряженностью электрического поля E у Максвелла выражается уравнением:

$$\vec{D} = \frac{\varepsilon}{4\pi} \vec{E}.$$

Максвелл выписывает далее закон Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}.$$

Затем выписывает уравнение $\operatorname{div} D = \rho$ и уравнение где

$$\vec{B} = \mu \vec{H},$$

а также пограничное условие:

$$D_{n_1} + D_{n_2} = \sigma.$$

Такова система уравнений Максвелла. Важнейший вывод из этих уравнений заключается в существовании поперечных электромагнитных волн, распространяющихся в немагнитном диэлектрике со скоростью: где

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon}}.$$

Этот вывод получен им в последнем разделе «Динамической теории поля», носящем название «Электромагнитная теория света». «...Наука об электромагнетизме, – пишет здесь Максвелл, – ведет к совершенно таким же заключениям, как и оптика в отношении направления возмущений, которые могут распространяться через поле; обе эти науки утверждают поперечность этих колебаний, и обе дают ту же самую скорость распространения». В эфире эта скорость c - скорость света (Максвелл обозначает ее V), в диэлектрике она меньше где

$$\sqrt{\varepsilon}.$$

Таким образом, показатель преломления n , по Максвеллу, определяется электрическими и магнитными свойствами среды. В немагнитном диэлектрике где

$$n = \sqrt{\varepsilon}.$$

Это знаменитое соотношение Максвелла.

В «Трактате» Максвелл пишет: «По теории, согласно которой свет есть электромагнитное возмущение, распространяющееся в той же самой среде, через которую распространяются другие электромагнитные действия, V должно быть скоростью света, численное значение которой может быть определено различными методами. С другой стороны, v - число электростатических единиц в одной электромагнитной единице и методы

определения этой величины были описаны в предыдущей главе. Они являются совершенно независимыми методами определения скорости света. Следовательно, совпадение или несовпадение величины U и v обеспечивает проверку электромагнитной теории света».

Максвелл дает сводку определений V и v , из которой следует, что «скорость света и отношение единиц имеет тот же порядок величины». Хотя Максвелл не считает это совпадение достаточно точным, он надеется, что в дальнейших экспериментах соотношение между обеими величинами может быть определено более точно. Во всяком случае имеющиеся данные не опровергают теории. Но в отношении закона Максвелла дело обстояло хуже. Был один экспериментальный результат, полученный при определении диэлектрической проницаемости парафина. Она оказалась равной $\epsilon = 1,975$. С другой стороны, значения показателя преломления парафина для фраунгоферовых линий - А, D, H оказались равными $n = 1,420$ вместо $\sqrt{1,975} = 1,405$.

Эта разница достаточно велика, и ее нельзя отнести за счет ошибки наблюдения. Максвелл считал ее указанием на необходимость значительного улучшения теории строения вещества, «прежде чем мы сможем выводить оптические свойства тел из их электрических свойств». Это очень тонкое и глубокое замечание полностью оправдалось в истории физики.

Во времена Максвелла еще не была открыта длинноволновая область электромагнитного спектра и для нее, естественно, не были промерены значения показателя преломления. Однако в оптической области была уже обнаружена аномальная дисперсия, показавшая, что показатель преломления весьма сложным образом зависит от частоты. Требовались разносторонние экспериментальные и теоретические исследования, чтобы сказать со всей определенностью о справедливости закона Максвелла. Сам Максвелл был глубоко убежден в правильности своих выводов, и его не смущали отступления экспериментальных данных от теоретических значений. Он внимательно следил за исследованиями в этой области, хотя и предупреждал: «Мы едва можем надеяться даже на приблизительную проверку, если будем сравнивать результаты наших медленно протекающих электрических опытов со световыми колебаниями, совершающимися миллиарды раз в секунду». Тем не менее он приветствовал результаты Больцмана, измерившего диэлектрические проницаемости газов и показавшего справедливость для ряда газов максвелловского соотношения $n^2 = \epsilon$. Он включил результаты Больцмана в свой последний труд «Электричество в элементарном изложении», изданный посмертно. Сюда же включил и результаты русских физиков Н.Н.Шиллера (1848-1910) и П. А. Зилова (1850-1921).

Н. Н. Шиллер в 1872–1874 гг. измерял диэлектрическую постоянную ряда веществ в переменных электрических полях с частотой порядка 10 Гц. Для ряда диэлектриков он нашел приблизительное подтверждение закона $n^2 = \epsilon$, но для других, например для стекла, расхождение было весьма значительным. П. А. Зилов в 1876 г. измерил диэлектрические постоянные для некоторых жидкостей. Для терпентина он нашел: $\epsilon = 2,21$, $\epsilon(1/2) = 1,49$, $n = 1,456$. Зилов прекрасно понимал, что длина электрических волн «бесконечно велика сравнительно с длиной световых волн», и закон Максвелла он формулирует так: «Квадратный корень из диэлектрической постоянной изолятора равняется его показателю преломления для лучей бесконечно длинной волны».

Н. Н. Шиллер



Н. Н. Шиллер и П. А. Зиллов были учениками Столетова. Сам Столетов глубоко интересовался теорией Максвелла и предпринял измерение отношения единиц в целях подтверждения вывода Максвелла. В России теория Максвелла встретила сочувствие и понимание, и русские физики много способствовали ее успеху.

В теории Максвелла энергия распределена в пространстве с объемной плотностью. Очевидно, что электромагнитная волна, распространяясь в пространстве, несет с собой энергию. Максвелл утверждал, что, падая на поглощающую поверхность, волна производит давление на эту поверхность, равное объемной плотности энергии. Этот вывод Максвелла встретил критику со стороны В. Томсона (Кельвина) и других физиков. Как мы увидим далее, русский физик П. Н. Лебедев доказал правоту Максвелла.

Учение о движении энергии было разработано русским физиком Н. А. Умовым.

Н. А. Умов родился 23 января 1846 г. в семье симбирского врача. По окончании в 1863 г. Первой московской гимназии УМОВ поступил в Московский университет, который окончил в 1867 г. кандидатом. В 1871 г. Умов защищает магистерскую диссертацию «Теория термомеханических явлений в твердых упругих телах» и избирается доцентом Новороссийского университета в Одессе. В 1874 г. он защищает докторскую диссертацию «Уравнения движения энергии в телах». Диспут был трудным. Идея движения энергии казалась неприемлемой даже таким физикам, как А. Г. Столетов. В 1875 г. Умов становится экстраординарным, а в 1880 г. ординарным профессором Новороссийского университета. В 1893 г. он переезжает в Москву в связи с избранием его профессором университета. Через три года он занимает кафедру физики, освободившуюся после смерти Столетова.



Под руководством Умова проектируется и строится здание физического института университета. Умер Умов 15 января 1915 г.

В своей работе «Уравнения движения энергии в телах» Умов рассматривает движение энергии в среде с равномерным распределением энергии по всему объему, так что каждый элемент объема среды «заключает в данный момент определенное количество энергии». Умов обозначает объемную плотность энергии через \mathcal{E} , а через l_x , l_y , l_z - «слагающие по прямоугольным осям координат x , y и z скорости, с которой энергия движется в рассматриваемой точке среды». Умов устанавливает далее дифференциальное уравнение, которому подчиняется изменение плотности энергии \mathcal{E} во времени:

$$-\frac{d\mathcal{E}}{dt} = \frac{d\mathcal{E}l_x}{dx} + \frac{d\mathcal{E}l_y}{dy} + \frac{d\mathcal{E}l_z}{dz}$$

Так же как и Максвелл, Умов обозначает частные производные через

$$\frac{d\mathcal{E}}{dt}, \frac{d\mathcal{E}l_x}{dx}, \dots,$$

Сегодня мы пишем наоборот:

$$-\frac{\partial\mathcal{E}}{\partial t} = \frac{\partial\mathcal{E}l_x}{\partial x} + \frac{\partial\mathcal{E}l_y}{\partial y} + \frac{\partial\mathcal{E}l_z}{\partial z}$$

и для всего объема:

$$\iiint \frac{\partial\mathcal{E}}{\partial t} dx dy dz + \iint \mathcal{E}l_n d\sigma = 0.$$

Таким образом, изменение энергии внутри объема определяется ее потоком через поверхность. Через каждую единицу поверхности в единицу времени течет количество энергии $\mathcal{E}l_n$, равной нормальной составляющей вектора $\mathcal{E}l = \text{grad } \mathcal{E}$. Этот вектор ныне называется вектором Умова.

17 декабря 1883 г. Рэлей представил Королевскому обществу сообщение Джона Пойнтинга (1852–1914) «О переносе энергии в электромагнитном поле». Это сообщение было прочитано Пойнтингом 10 января 1884 г. и опубликовано в трудах общества в 1885 г., т. е. спустя 11 лет после публикации Умова. Не зная этой публикации, появившейся в Одессе в 1874 г. отдельной брошюрой, Пойнтинг решает тот же вопрос применительно к случаю движения электромагнитной энергии. Исходя из максвелловского выражения для объемной плотности электромагнитной энергии, Пойнтинг находит теорему, которую формулирует следующим образом: «Изменение суммы заключенных внутри поверхности электрической и магнитной энергий в секунду вместе с теплом, развиваемым токами, равно величине, в которую каждый элемент поверхности вносит свою долю, зависящую от значений электрической и магнитной силы на этом элементе».

Это означает, что «энергия течет... перпендикулярно к плоскости, содержащей линии электрической и магнитной сил, и что количество энергии, пересекающее единицу поверхности этой плоскости в секунду, равно произведению: электродвижущая силах магнитная силах синус угла между ними, деленному на 4π , в то время как направление потока определяется тремя величинами – электродвижущей силой, магнитной силой и потоком энергии, связанными в правовинтовую связку».

В современных обозначениях вектор потока энергии Пойнтинга по модулю и направлению определяется выражением:

$$\frac{c}{4\pi} [\vec{E}\vec{H}].$$

В нашей литературе этот вектор называют вектором Умова–Пойнтинга.

Говоря о достижениях теории близ-кодействия, к которым относится и теория Максвелла, не следует забывать, что эта теория не пользовалась поддержкой большинства ведущих физиков. Максвелл в предисловии к первому изданию своего «Трактата по электричеству и магнетизму», датированном 1 февраля 1873 г., писал, что метод фарадея равноправен методу математиков, трактующих электричество в терминах действия на расстоянии. «Я нашел, – писал Максвелл, – что результаты обоих методов вообще совпадают, так что ими объясняются одни и те же явления и обоими методами выводятся одни и те же законы». Однако он подчеркивает, что плодотворные методы, найденные математиками, «могут быть выражены в терминах представлений, заимствованных у фарадея, много лучше, чем в их первоначальной форме». Такова, по мнению Максвелла, теория потенциала, если потенциал рассматривать как величину, удовлетворяющую дифференциальному уравнению в частных производных. Максвелл предпочитает и защищает метод фарадея. «Этот путь, хотя он и может показаться в некоторых частях менее определенным, находится, как я думаю, в более верном соответствии с нашими действительными познаниями как в том, что он утверждает, так и в том, что он оставляет нерешенным». Заканчивая свой трактат разбором теории дальнего действия, Максвелл указывает, что все они находились в оппозиции к концепции поля, были «против предположения о существовании среды, в которой распространяется свет». Но Максвелл утверждает, что концепция дальнего действия неизбежно сталкивается с вопросом: «Если что-то распространяется на расстояние от одной частицы к другой, то в каком оно будет состоянии, когда оно покинуло одну частицу и не достигло еще другой?». Максвелл считает, что единственно разумным ответом на этот вопрос является гипотеза промежуточной среды, передающей действие одной частицы на другую, гипотеза близко действия. Если принять эту гипотезу, то она, как думает Максвелл, «должна занять видное место в наших исследованиях, и мы должны попытаться составить себе мысленное представление о всех деталях этого действия». «И это было, – заканчивает Максвелл, – моей постоянной целью в этом трактате».

Таким образом, уже в «Трактате» Максвелл констатирует наличие серьезной оппозиции среди сторонников дальнего действия новым идеям. Он ясно чувствует, что новая концепция поля означает поднятие нашего понимания электромагнитных явлений на новый

высший уровень, и в этом он, безусловно, прав. Но этот новый уровень, вводя неясную, не осязаемую непосредственно нами концепцию поля, уводит нас дальше от обычных чувственных представлений, от привычных понятий. Повторилось еще раз указание Аристотеля, что познание идет к «более явному по природе», но «менее явному для нас».

Потребовались новые результаты, чтобы теория Максвелла стала достоянием физики. Решающую роль в победе максвелловской теории сыграл немецкий физик Генрих Герц.

Герц, Генрих Рудольф Герц родился 22 февраля 1857 г. в семье адвоката позже ставшего сенатором. В эпоху Герца в объединенной Германии интенсивно развивались промышленность, наука и техника. В Берлинском университете Гельмгольц создал мировую научную школу, под его руководством был выстроен в 1876 г. физический институт. (*О создании и устройстве физического института Гельмгольца см. в кн.: Лебединский А.В. и др. Гельмгольц.—М.: Наука 1966, с. 148-153.*) Тогда же Вернер Сименс (1816-1892) интенсивно работал в области электротехники сильных токов. Сименс был организатором крупнейших электротехнических фирм «Сименс и Гальске», «Сименс и Шункерт». Он был вместе с Гельмгольцем одним из инициаторов создания физико-технического института, высшего метрологического учреждения Германии. Друг и родственник Сименса, Гельмгольц был первым президентом этого института.



Генрих Герц

В среду этих лидеров немецкой науки и техники вошел и Герц. По окончании в 1875 г. гимназии Герц учился сначала в Дрезденском, а потом в Мюнхенском высшем техническом училище. Но скоро он понял, что его призвание – наука, и перешел в Берлинский университет, где изучал физику под руководством Гельмгольца.

Герц был любимым учеником Гельмгольца, и именно ему Гельмгольц поручил проверить экспериментально теоретические выводы Максвелла. Герц начал свои знаменитые опыты, будучи профессором Высшей технической школы в Карлсруэ, и заканчивал их в Бонне, где был профессором экспериментальной физики.

Умер Герц 1 января 1894 г. Его учитель Гельмгольц, написавший некролог на своего ученика, скончался в том же году 8 сентября.

Гельмгольц в своем некрологе вспоминает начало научного пути Герца, когда он предложил ему тему для студенческой работы из области электродинамики, «будучи уверен, что Герц заинтересуется этим вопросом и успешно его разрешит». Таким образом

Гельмгольц ввел Герца в ту область, в которой ему впоследствии пришлось сделать фундаментальные открытия и обессмертить себя. Характеризуя состояние электродинамики в то время (лето 1879 г.), Гельмгольц писал: «...Область электродинамики превратилась в то время в бездорожную пустыню, факты, основанные на наблюдениях и следствиях из весьма сомнительных теорий, – все это было вперемешку соединено между собой». Заметим, что эта

характеристика относилась к 1879 г. – году смерти Максвелла. Герц родился как ученый именно в этот год. Нелестная характеристика электродинамики конца 70-х – начала 80-х годов XIX в. дается и Энгельсом в 1882 г.

Энгельс отмечает «вездесущность электричества», проявляющегося при изучении самых различных процессов природы, растущее его применение в промышленности и указывает, что, несмотря на это, «оно является именно той формой движения, насчет существа которой царит еще величайшая неясность».

«В учении... об электричестве, – продолжает Энгельс, – мы имеем перед собой хаотическую груду старых, ненадежных экспериментов, не получивших ни окончательного подтверждения, ни окончательного опровержения, какое-то неуверенное блуждание во мраке, не связанные друг с другом исследования и опыты многих отдельных ученых, атакующих неизвестную область взброд, подобно орде кочевых наездников»(*Энгельс ф. Диалектика природы. – Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 20, с. 433-434.*). Хотя Энгельс выражается более резко, чем Гельмгольц, их характеристики в основном совпадают: «бездорожная пустыня», «блуждание во мраке». Но Гельмгольц ни слова не говорит о Максвелле, а Энгельс отмечает «решительный прогресс» эфирных теорий электричества и «один бесспорный успех», имея в виду экспериментальное подтверждение Больцманом закона Максвелла $n^2 = \epsilon$.

«Таким образом, – резюмирует Энгельс, – специально максвелловская эфирная теория была подтверждена экспериментально».(*Энгельс ф. Диалектика природы. – Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 20, с. 439.*) Но решающее подтверждение было еще впереди.

Пока же молодому ученому в работах «Попытка определения верхней границы для кинетической энергии течения электричества» (1880), докторской диссертации «Об индукции во вращающихся телах» (март 1880), «Об отношении максвелловских электродинамических уравнений к противоположной электродинамике» (1884) приходилось пробираться по «бездорожной пустыне», нащупывая мосты между соперничающими теориями. В работе 1884 г. Герц показывает, что максвелловская электродинамика обладает преимуществами по отношению к обычной, но считает недоказанным, что она единственно возможная. В дальнейшем Герц, однако, остановился на компромиссной теории Гельмгольца. Гельмгольц взял у Максвелла и фарадея признание роли среды в электромагнитных процессах, но в отличие от Максвелла считал, что действие незамкнутых токов должно быть отлично от действия замкнутых токов. Действие замкнутых токов выводится из обеих теорий одинаково, в то время как для незамкнутых токов, по Гельмгольцу, должны наблюдаться различные следствия из обеих теорий. «Для каждого, кто знал в то время действительное положение дел, – писал Гельмгольц, – было ясно, что полного понимания теории электромагнитных явлений можно будет достичь только путем точного исследования процессов, связанных с этими мгновенными незамкнутыми токами».

Этот вопрос изучал в лаборатории Гельмгольца Н.Н.Шиллер, посвятивший этому исследованию свою докторскую диссертацию «Диэлектрические свойства - концов разомкнутых токов в диэлектриках» (1876). Шиллер не обнаружил различия между замкнутыми и незамкнутыми токами, как это и должно было быть по теории Максвелла. Но, видимо, Гельмгольц не удовлетворился этим и предложил Герцу вновь заняться проверкой теории Максвелла и взяться за решение задачи, поставленной в 1879 г. Берлинской Академией наук: «показать экспериментально наличие какой-нибудь связи между электродинамическими силами и диэлектрической поляризацией диэлектриков». Подсчеты Герца показали, что ожидаемый эффект даже при наиболее благоприятных условиях будет слишком мал, и он «отказался от разработки задачи». Однако с этих пор он не переставал думать о возможных путях ее решения и его внимание «было обострено в отношении всего, что связано с электрическими колебаниями».

Действительно, при низких частотах эффект тока смещения, а именно в этом основное отличие теории Максвелла от теории дальнодействия, ничтожен, и Герц правильно уяснил, что для успеха решения задачи нужны высокочастотные электрические колебания. Что было

известно об этих колебаниях?

В 1842 г. американский физик Дж. Генри, повторяя опыты Савара 1826 г., установил, что разряд лейденской банки «не представляется... единичным переносом невесомого флюида с одной обкладки банки на другую» и что необходимо допустить «существование главного разряда в одном направлении, а затем несколько отраженных действий назад и вперед, каждое из которых является более слабым, чем предыдущее, продолжающихся до тех пор, пока не наступит равновесие».

Гельмгольц в мемуаре «О сохранении силы» также констатирует, что разряд батареи лейденских банок следует представлять «не как простое движение электричества в одном направлении, а как движение его туда и обратно между обеими обкладками, как колебания, которые все более и более уменьшаются, пока вся их живая сила не уничтожается суммой сопротивлений».

В.Томсон в 1853 г. исследовал разряд проводника заданной емкости через проводник данной формы и сопротивления. Применяя к процессу разряда закон сохранения энергии, он вывел уравнение разрядного процесса в следующем виде:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{k}{A} \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{1}{CA} q = 0,$$

где q - количество электричества на разряжаемом проводнике в данный момент времени t , C - емкость проводника, k - гальваническое сопротивление разрядника, A - «постоянная, которую можно назвать электродинамической емкостью разрядника» и которую мы сейчас называем коэффициентом самоиндукции или индуктивностью. Томсон, анализируя решение этого уравнения при различных корнях характеристического уравнения, находит, что когда величина

$$\alpha' = \left(\frac{1}{CA} - \frac{k^2}{4A^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

имеет действительное значение ($1/CA > 4 \cdot (k/A)^2$), то решение показывает, «что главный проводник теряет свой заряд, заряжается меньшим количеством электричества обратного знака, снова разряжается, опять оказывается заряженным еще меньшим количеством электричества первоначального знака, и это явление повторяется бесконечное число раз, пока не установится равновесие». Циклическая частота этих затухающих колебаний:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \alpha'.$$

Таким образом, период колебаний можно представить формулой:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{CA} - \frac{k^2}{4A^2}}}.$$

При малых значениях сопротивления получаем известную формулу Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{AC}.$$

Электромагнитные колебания были экспериментально исследованы В. Феддерсеном (1832–1918), который рассматривал изображение искрового разряда лейденской банки во вращающемся зеркале, фотографируя эти изображения, Феддерсен установил, что «в электрической искре имеют место попеременно противоположные токи» и что время одного колебания «увеличивается в той мере, как возрастает корень квадратный из электризуемой поверхности», т. е. период колебаний пропорционален корню квадратному из емкости, как это и следует из формулы Томсона. Недаром Томсон, переиздавая в 1882 г. свою работу «О преходящих электрических токах», рассмотренную выше, снабдил ее примечанием, датированным 11 августа 1882 г.: «Теория колебательного электрического разряда, рассмотренная в этой статье 1853 г., приобрела вскоре интересную иллюстрацию в прекрасном фотографическом исследовании электрической искры, выполненной Феддерсеном». Далее Томсон указывает, что его теория «была подвергнута очень важному и замечательно выполненному экспериментальному исследованию в лаборатории Гельмгольца в Берлине», ссылаясь на работу Н. Н. Шиллера 1874 г. «Некоторые экспериментальные исследования электрических колебаний». Томсон отмечает, что среди других «значительных результатов» этого исследования «были определены из измерений периодов наблюдаемых колебаний удельные индуктивные емкости (т. е. диэлектрические проницаемости) некоторых твердых изолирующих веществ».

Таким образом, к началу исследований Герца электрические колебания были изучены и теоретически и экспериментально. Герц с его обостренным вниманием к этому вопросу, работая в высшей технической школе в Карлсруэ, нашел в физическом кабинете пару индукционных катушек, предназначенных для лекционных демонстраций. «Меня поразило, – писал он, – что для получения искр в одной обмотке не было необходимости разряжать большие батареи через другую и более того, что для этого достаточны небольшие лейденские банки и даже разряды небольшого индукционного аппарата, если только разряд пробивал искровой промежуток». Экспериментируя с этими катушками, Герц пришел к идее своего первого опыта;

Экспериментальную установку и сами опыты Герц описал в опубликованной в 1887 г. статье «О весьма быстрых электрических колебаниях». Герц описывает здесь способ генерации колебаний, «приблизительно в сто раз быстрее наблюдаемых Феддерсеном». «Период этих колебаний, – пишет Герц, – определяемый, конечно, лишь при помощи теории, измеряется стотысячными долями секунды. Следовательно, в отношении продолжительности они занимают среднее место между звуковыми колебаниями весомых тел и световыми колебаниями эфира». Однако ни о каких электромагнитных волнах длиной порядка 3 м Герц в этой работе не говорит. Все, что он сделал, это сконструировал генератор и приемник электрических колебаний, изучая индукционное действие колебательного контура генератора на колебательный контур приемника при максимальном расстоянии между ними 3 м.

Колебательный контур в окончательном опыте представлял собой проводники С и С1, находящиеся на расстоянии 3 м друг от друга, соединенные медной проволокой, в середине которой находился разрядник индукционной катушки. Приемник представлял собой прямоугольный контур со сторонами 80 и 120 см, с искровым промежутком в одной из коротких сторон. Индукционное действие генератора на приемник обнаруживалось слабой искоркой в этом промежутке.

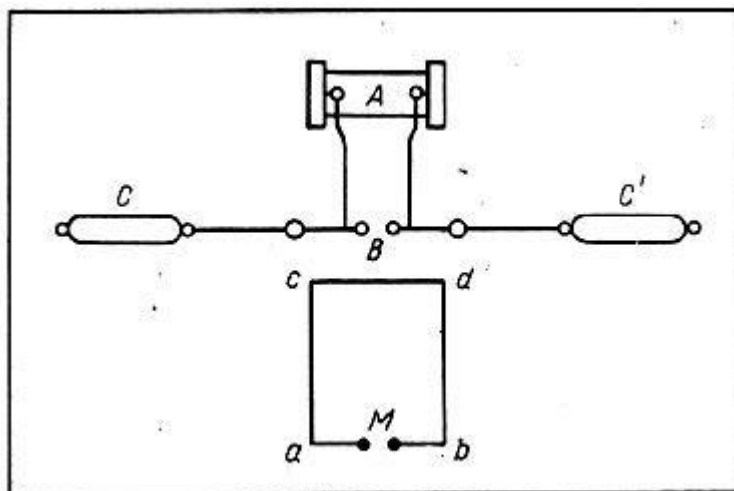


Рис. 43. Опыт Герца

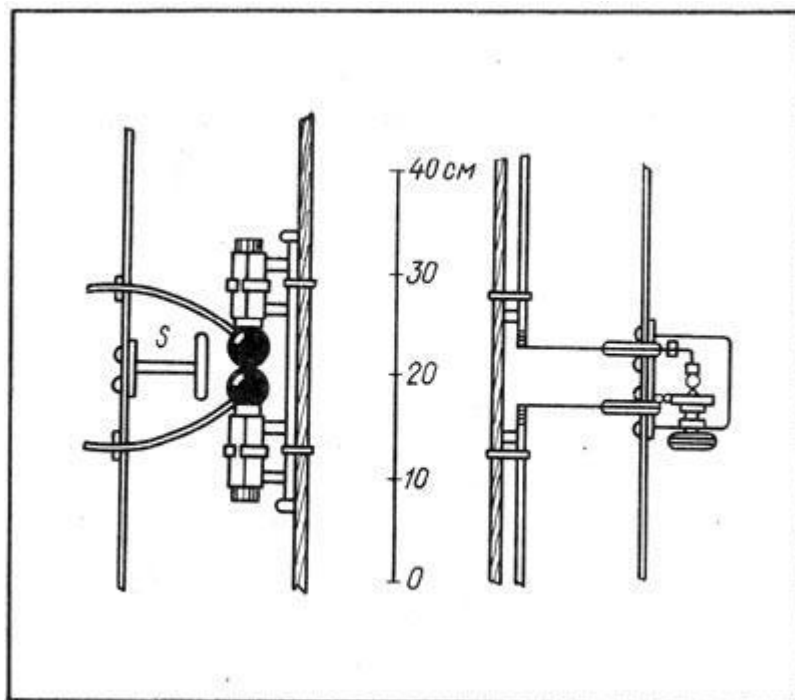
Затем Герц сделал приемный контур в виде двух шаров диаметром 10 см, соединенных медной проволокой, в середине которой был искровой промежуток. Описывая результаты опыта Герц заключал: «Я думаю, что здесь впервые было показано на опыте взаимодействие прямолинейных разомкнутых токов, имеющее такое большое значение для теории». В самом деле, как мы знаем, именно разомкнутые цепи позволили сделать выбор между конкурирующими теориями. Однако Герц ни в этой первой работе, ни в трех последующих о максвелловских электромагнитных волнах не говорит, он их еще не видит. Он говорит пока о «взаимодействии» проводников и рассчитывает это взаимодействие по теории дальнего действия. Проводники, с которыми здесь работает Герц, вошли в науку под названием вибратор и резонатор Герца. Резонатором проводник называется по тому, что наиболее сильно возбуждается колебаниями, резонирующими с его собственными колебаниями.

В следующей работе «О влиянии ультрафиолетового света на электрический разряд», поступившей в «Протоколы Берлинской Академии наук» 9 июня 1887 г., Герц описывает важное явление, открытое им и получившее впоследствии название фотоэлектрического эффекта. Это замечательное открытие было сделано благодаря несовершенству герцевского метода детектирования колебаний: искры, возбуждаемые в приемнике, были настолько слабы, что Герц решил для облегчения наблюдения поместить приемник в темный футляр.

Однако оказалось, что максимальная длина искры при этом значительно меньше, чем в открытом контуре. Удаляя последовательно стенки футляра, Герц заметил, что мешающее действие оказывает стенка, обращенная к искре генератора. Исследуя тщательно это явление,

Герц установил причину, облегчающую искровой разряд приемнику—ультрафиолетовое свечение искры генератора. Таким образом, чисто случайно, как пишет сам Герц, был открыт важный факт, не имевший прямого отношения к цели исследования. Этот факт сразу же привлек внимание ряда исследователей, в том числе профессора Московского университета

А. Г. Столетова, особенно тщательно исследовавшего новый эффект, названный им **актиноэлектрическим**.



Опыт с вибратором Герца

А. Г. Столетов. Александр Григорьевич Столетов родился 10 августа 1839 г. во Владимире в купеческой семье. По окончании Владимирской гимназии Столетов поступил на физико-математический факультет Московского университета и был оставлен там для подготовки к преподавательской деятельности. С 1862 по 1865 г. Столетов был в заграничной командировке, во время которой познакомился с видными учеными Германии Кирхгофом, Магнусом и другими. В 1866 г. Столетов становится преподавателем университета и читает курс математической физики. В 1869 г. он защищает магистерскую диссертацию «Общая задача электростатики и ее приведение к простейшему случаю», после чего утверждается доцентом университета.

А. Г. Столетов



Защитив в 1872 г. докторскую диссертацию «Исследование о функции намагничивания мягкого железа», Столетов утверждается экстраординарным профессором Московского университета и организует физическую лабораторию, подготовившую многих русских физиков. В этой лаборатории Столетов - начал в 1888 г. свои актиноэлектрические

исследования. (*Подробнее о лаборатории А. Г. Столетова см. вкн. Тепляков Г. М., Кудрявцев П. С. Александр Григорьевич Столетов. - М.: Просвещение, 1966*)

Герц в своей статье о влиянии ультрафиолетового света на электрический разряд указывал на способность ультрафиолетового излучения увеличивать искровой промежуток разрядника индуктория и аналогичных разрядников. «Условия, при которых он проявляет свое действие в таких разрядах, конечно, очень сложны, и было бы желательно исследовать действие в более простых условиях, в частности устранив индуктории», – писал Герц. В примечании он указывал, что ему не удалось найти условий, которыми можно было бы заменить «так мало понятный процесс искрового разряда более простым действием». Это впервые удалось только Г. Гальвакусу (1859-1922). Но Галь-вакс, а также Видеман и Эберт исследовали, как и Герц, действие света на электрические разряды высокого напряжения.

Столетов решил исследовать, «получится ли подобное действие при электричестве слабых потенциалов». Указав на преимущества такого метода, Столетов продолжал: «Моя попытка имела успех выше ожидания. Первые опыты начаты около 20 февраля 1888 г. и продолжались непрерывно... по 21 июня 1888 г.». Назвав исследуемое явление актиноэлектрическим, Столетов сообщает, что он продолжал опыты и во второй половине 1888 г. и в 1889 г. и еще не считает их законченными.

Для получения фотоэффекта (термин, вытеснивший термин Столетова) Столетов пользовался установкой, являющейся прототипом современных фотоэлементов. Два металлических диска (Столетов называл их то «арматурами», то «электродами») – один изготовленный из металлической сетки, а другой сплошной – соединялись с полюсами гальванической батареи через гальванометр, образуя конденсатор, включенный в цепь батареи. Перед сетчатым диском помещался дуговой фонарь, свет которого, проходя через сетку, падал на металлический диск.

«Уже предварительные опыты... убедили меня, что не только батарея в 100 элементов..., но и гораздо меньшая дает во время освещения дисков несомненный ток в гальванометре, если только цельный (задний) диск соединен с ее отрицательным полюсом, а сетчатый (передний) – с положительным.

Так просто и чисто было воспроизведено явление фотоэлектрического тока. Именно Столетов вывел это явление из путаницы сложных отношений электрического разряда, придумал простую конструкцию первого фотоэлемента и тем самым положил начало плодотворному изучению фотоэффекта. Столетов впервые ясно и четко показал униполярность эффекта: «Я с самого начала моих исследований категорически настаивал на совершенной униполярности актиноэлектрического действия, т. е. на нечувствительности положительных зарядов к лучам». Он же доказал безынерционность действия: «Актинэлектрический ток мгновенно (говоря практически) прекращается, как скоро лучи задержаны экраном»; показал, что фотоэффект связан «с поглощением активных лучей» освещаемым электродом: «Лучи должны поглощаться отрицательно заряженной поверхностью. Очевидно, важно при этом поглощение в тончайшем верхнем слое электрода, в том слое, где, так сказать, сидит электрический заряд».

Исследуя время, прошедшее с освещения электрода до появления фототока (это было очень трудно и не очень надежно), Столетов нашел, что это время «весьма ничтожно, другими словами, действие лучей можно считать, практически говоря, мгновенным». «Практически говоря, ток появляется и исчезает одновременно с освещением». Столетов нашел также, что зависимость фототока от напряжения не является линейной; «Ток приблизительно пропорционален электродвижущей силе лишь при наименьших величинах этой последней, а затем, по мере ее возрастания, хотя и растет также, но все медленнее».

Таким образом, Столетов весьма тщательно и подробно исследовал фотоэффект. Он ясно увидел природу явления, однако до открытия электронов он, естественно, не мог еще раскрыть подлинную его сущность: вырывание электронов светом. Тем более поразительно, что в самом первом пункте своих выводов он пишет: «Лучи вольтовой дуги, падая на поверхность отрицательно заряженного тела, уносят с него заряд».

Имя Столетова по праву стоит в числе первооткрывателей фотоэлектрического эффекта.

В 1890 г. Столетов продолжил свои исследования. Результаты новых исследований были опубликованы в статье «Актиноэлектрические явления в разреженных газах». Здесь Столетов исследовал роль давления газа в фотоэлементе. Он нашел, что при уменьшении давления газа ток растёт сначала медленно, потом быстрее, достигая максимума при некотором давлении, которое Столетов назвал критическим и обозначил через p_c . После достижения критического давления ток падает, приближаясь к конечному пределу. Столетов нашел закон, связывающий критическое давление с зарядом конденсатора. «Критическое давление пропорционально заряду конденсатора, иначе говоря, $p_c \cdot C = \text{const}$ ». Этот закон вошел в физику газового разряда под названием закона Столетова.

За актиноэлектрическими исследованиями последовали рассмотренные выше статьи Столетова о критическом состоянии.

Ученый с разносторонними научными интересами, лидер русских физиков, воспитатель целой плеяды физиков, занявших кафедры русских университетов, достойный представитель русской науки за рубежом, Столетов был выдвинут кандидатом в Петербургскую академию наук. Однако президент академии великий князь К. К. Романов отвел кандидатуру Столетова. Вместо Столетова был выдвинут молодой физик Б. Б. Голицын, диссертацию которого незадолго до этого Столетов подверг суровой критике. Это обстоятельство Столетов очень тяжело переживал, и эти переживания, возможно, ускорили его кончину, последовавшую 15 мая 1896 г.

Открытие электромагнитных волн

Вернемся, однако, к Герцу. Как мы видели, в своей первой работе Герц получил быстрые электрические колебания и исследовал действие вибратора на приемный контур, особенно сильное в случае резонанса. В работе «О действии тока» Герц перешел к изучению явлений на более далеком расстоянии, работая в аудитории длиной 14 м и шириной 12 м. Он обнаружил, что если расстояние приемника от вибратора менее 1 м, то характер распределения электрической силы аналогичен полю диполя и убывает обратно пропорционально кубу расстояния. Однако на расстояниях, превышающих 3 м, поле убывает значительно медленнее и неодинаково в различных направлениях. В направлении оси вибратора действие убывает значительно быстрее, чем в направлении, перпендикулярном оси, и едва заметно на расстоянии 4 м, тогда как в перпендикулярном направлении оно достигает расстояний, больших 12 м. Этот результат противоречит всем законам теории дальнего действия Герц продолжал исследование в волновой зоне своего вибратора, поле которого он позже рассчитал теоретически. В ряде последующих работ Герц неопровержимо доказал существование электромагнитных волн, распространяющихся с конечной скоростью. «Результаты опытов, поставленных мною над быстрыми электрическими колебаниями, – писал Герц в своей статье 1889 г., – показали мне, что теория Максвелла обладает преимуществом перед всеми другими теориями электродинамики».

Герц предпринимает теоретический анализ излучения своего вибратора («осциллятора Герца») на основе теории Максвелла. Статья «Силы электрических колебаний, рассматриваемые по максвелловской теории» содержит результаты такого анализа. В ней Герц выписывает уравнения Максвелла в форме, отличной от максвелловской, в виде двух «триплетов»:

$$\left\{ \begin{array}{l} A \frac{dL}{dt} = \frac{dZ}{dy} - \frac{dY}{dz} \\ A \frac{dM}{dt} = \frac{dX}{dz} - \frac{dZ}{dx} \\ A \frac{dN}{dt} = \frac{dY}{dx} - \frac{dX}{dy} \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A \frac{dX}{dt} = \frac{dM}{dz} - \frac{dN}{dy} \\ A \frac{dY}{dt} = \frac{dN}{dx} - \frac{dL}{dz} \\ A \frac{dZ}{dt} = \frac{dL}{dy} - \frac{dM}{dx} \end{array} \right. \quad (2)$$

Эти уравнения отличаются от современных обозначениями. Мы теперь пишем δ/δ вместо герце-максвелловского d/d $1/c$ вместо A ; E_x, E_y, E_z вместо X, Y, Z , H_x, H_y, H_z вместо L, M, N и применяем вместо расписывания по компонентам компактную векторную запись.

$$\text{rot} \vec{E} = - \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}, \quad \text{rot} \vec{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}.$$

К уравнениям (1) и (2) Герц прибавляет уравнения, выражающие отсутствие зарядов и токов (за исключением начала координат, где Герц помещает диполь с переменным во времени электрическим моментом $Ei \sin nt$):

$$\frac{dL}{dx} + \frac{dM}{dy} + \frac{dN}{dz} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{dX}{dx} + \frac{dY}{dy} + \frac{dZ}{dz} = 0, \quad (4)$$

или в современной векторной форме:

$$\text{div} \vec{H} = 0, \quad \text{div} \vec{E} = 0.$$

Далее Герц выписывает выражения для электрической и магнитной энергии:

$$\frac{1}{8\pi} \int (X^2 + Y^2 + Z^2) d\tau,$$

$$\frac{1}{8\pi} \int (L^2 + M^2 + N^2) d\tau.$$

и выводит из уравнений Максвелла теорему Пойнтинга о потоке энергии, которую он называет «в высшей степени замечательной». Современные учебники электродинамики пишут фундаментальные уравнения электромагнитной теории в форме Герца, за исключением обозначений, как было сказано выше. Теперь чаще применяют не гауссову систему единиц, как это делал Герц, а систему СИ. Герц решает уравнения, введя вспомогательную функцию, получившую название «вектор Герца», которую сам Герц выписывал в виде:

$$\Pi = El \frac{\sin(mr - nt)}{r},$$

где E – заряд диполя, l – его длина,
 $m = \pi/\lambda$, $n = \pi/T$

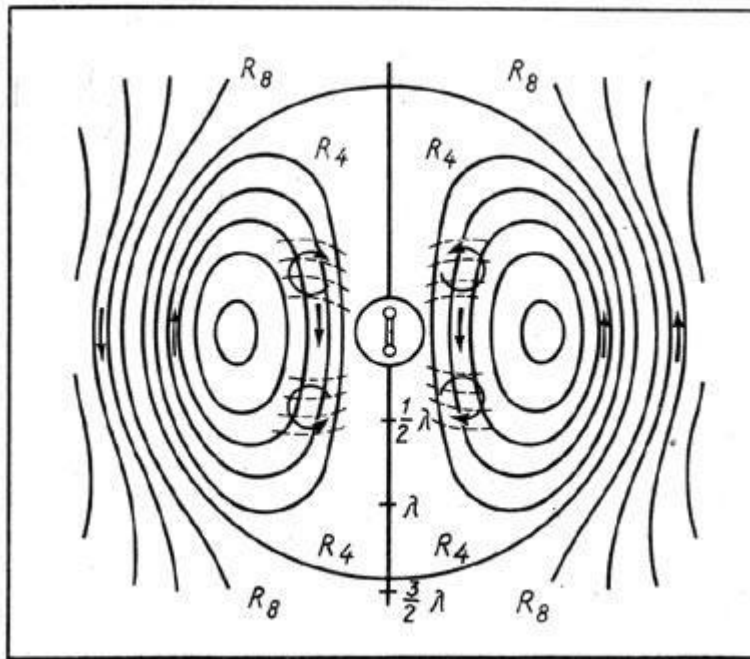


Рис. 45. Поле вибратора Герца

Полученное Герцем решение дает вблизи вибратора картину электростатического поля диполя и магнитного поля элемента тока в соответствии с законом Био – Савара. Но на дальних расстояниях получается волновое поле, напряженность которого убывает обратно пропорционально расстоянию, электрическая сила и магнитная сила перпендикулярны радиус-вектору и пропорциональны синусу угла, образованного направлением радиуса-вектора с осью диполя. Поле в этой волновой зоне в различные моменты времени Герц изобразил с помощью картины силовых линий. Эти рисунки Герца вошли во все учебники электричества.

Это поле распространяется в пространстве со скоростью света $c = 1/\Lambda$, причем в направлении оси диполь не излучает. Максимальное излучение происходит в

экваториальном направлении перпендикулярно оси диполя. Эти расчеты Герца легли в основу теории излучения антенн и классической теории излучения атомов и молекул.

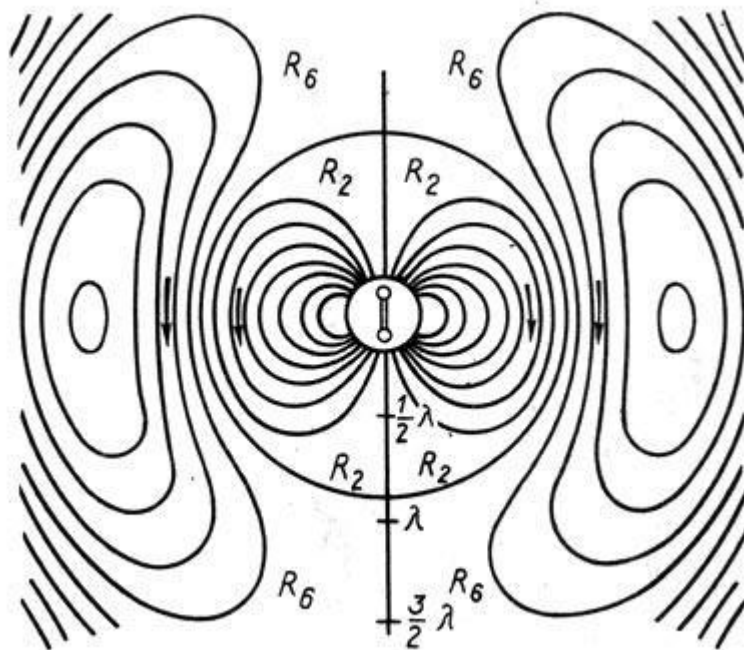


Рис. 46. Линии вибратора Герца

Таким образом, Герц в процессе своих исследований окончательно и безоговорочно перешел на точку зрения Максвелла, придавал удобную форму его уравнениям, дополнил теорию Максвелла теорией электромагнитного излучения. Герц получил экспериментально электромагнитные волны, предсказанные теорией Максвелла, и показал их тождество с волнами света. В работе «О лучах электрической силы», помещенной в «Протоколах

Берлинской Академии наук» 13 декабря 1888 г., Герц описывает свои опыты по распространению, поляризации, отражению, преломлению электромагнитных волн. Герц построил зеркала для опытов с этими волнами (зеркала Герца), призму из твердой смолы (асфальт) с основанием 1,2 м и высотой 1,5 м с преломляющим углом 30° . Все эти опыты доказали полную аналогию электромагнитных и световых волн. Готовя в 1891 г. издание

собрания своих статей под общим названием «Исследования о распространении электрической силы», Герц написал вводную статью, в которой подробно изложил историю и содержание своих исследований. Обзор экспериментальных работ он заканчивал словами:

«Целью этих работ была проверка основных гипотез теории Фарадея – Максвелла, а результат опытов есть подтверждение основных гипотез этой теории».

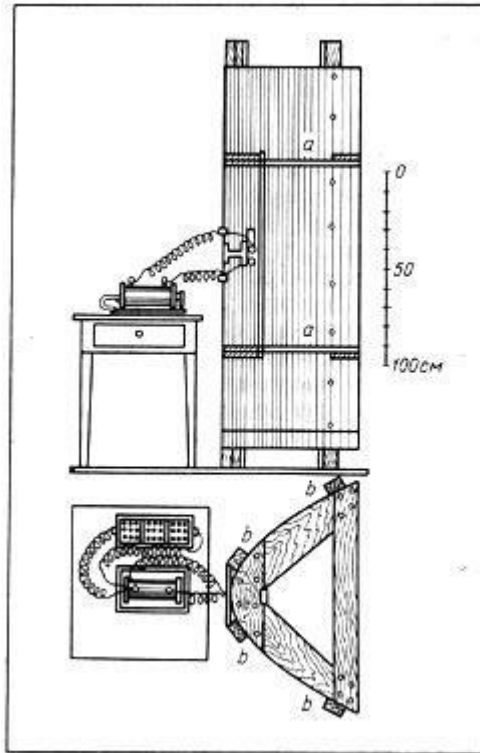


Рис. 47. Зеркала Герца

В 1889 г. Герц прочитал доклад «О соотношении между светом и электричеством» на 62-м съезде немецких естествоиспытателей и врачей. Здесь он подводит итоги своих опытов в следующих словах: «Все эти опыты очень просты в принципе, тем не менее они влекут за собой важнейшие следствия. Они рушат всякую теорию, которая считает, что электрические силы перепрыгивают пространство мгновенно. Они означают блестящую победу теории Максвелла... Насколько маловероятным казалось ранее ее воззрение на сущность света, настолько трудно теперь не разделить это воззрение».

Опыты Герца вызвали огромный резонанс. Особенно внимание привлекли опыты, описанные в работе «О лучах электрической силы». «Эти опыты с вогнутыми зеркалами, – писал Герц в «Введении» к своей книге «Исследования по распространению электрической силы», – быстро обратили на себя внимание, они часто повторялись и подтверждались. Они получили положительную оценку, которая далеко превзошла мои ожидания».

Среди многочисленных повторений опытов Герца особое место занимают опыты русского физика П. Н. Лебедева, опубликованные в 1895 г., первом году после смерти Герца. П. Н. Лебедев, усовершенствовав метод Герца, получил самые короткие электромагнитные волны и провел с ними опыты по двойному лучепреломлению, которые Герц не мог воспроизвести со своими относительно длинными волнами. Статья Лебедева «О двойном преломлении лучей электрической силы» появилась одновременно на русском и немецком языках. На немецком языке она была напечатана в тех же «Annalen der Physik» Видемана, в которых публиковал свои статьи Герц. В начале этой статьи Лебедев кратко излагает ее цель и содержание: «После того как Герц дал нам методы экспериментально проверить следствия электромагнитной теории света и тем открыл для исследования неизмеримую область, естественно появилась потребность сделать его опыты в небольшом масштабе, более Удобном для научных изысканий...».

П. Н. Лебедев



Таким образом, П. Н. Лебедев уже в эпоху зарождения радиофизики и радиотехники поставил задачу миниатюризации приборов для излучения и исследования электромагнитных волн и тем самым как бы предначертал современное направление конструкторской мысли в этой области. Приборы Лебедева были настолько малы, что, по выражению итальянского физика Аугусто Риги (1850–1920), который в 1894 г. разработал метод получения коротких волн, их можно было носить в жилетном кармане. Генератор Лебедева состоял из двух платиновых цилиндров, каждый по 1,3 мм длиной и 0,5 мм в диаметре, между которыми проскакивала искра. Зеркала Лебедева имели высоту 20 мм, отверстие 12 мм, фокусное расстояние 6 мм. Для исследования преломления Лебедев использовал эбонитовую призму высотой 1,8 см, шириной 1,2 см, весом менее 2 г, тогда как призма Герца весила 600 кг. Столь же малыми были двупреломляющие призмы из ромбической серы. Для наблюдения волн Лебедев пользовался термоэлементом.

Лебедев своей работой выдвинул также задачу идти по пути уменьшения длин электромагнитных волн до смыкания их с длинными инфракрасными волнами. Встретившись на одном из съездов с немецким физиком Рубенсом (1865–1922), который занимался исследованием инфракрасных волн, Лебедев высказал шутливое пожелание встретиться в эфире. Это пожелание осуществили в 20-х годах русские ученые-женщины А.

А. Глаголева-Аркадьева и М.А.Левицкая

П. Н. Лебедев, с одной стороны, укрепил позиции теории Максвелла, с другой стороны, первым измерил предсказанное Максвеллом световое давление и показал, что оно совпадает с теоретическим значением, полученным Максвеллом.



Приборы П.Н. Лебедева

Петр Николаевич Лебедев родился 8 марта 1866 г. в Москве в купеческой семье. «Свое школьное образование, – писал Лебедев в своем «Жизнеописании», приложенном к страсбургской диссертации, – я получил в Евангелическом Петропавловском церковном училище и в Реальном училище Хайновского... С сентября 1884 г. по март 1887 г. посещал Московское высшее техническое училище.

Чтобы посвятить себя изучению физики, я учился с октября 1887 по август 1889 в Страсбурге, зимний семестр 1889/90 в Берлине, а с пасхи 1890 по июль 1891 снова в Страсбурге». Учителем Лебедева в Страсбурге был известный физик Август Кундт (1839–1894), к которому Лебедев относился с большим уважением и сердечной признательностью. Кундту Лебедев посвятил после его смерти теплый прочувствованный некролог, в котором характеризовал его «не только как первоклассного ученого», но и как «несравненного учителя, который заботился о будущем своей любимой науки, образуя и воспитывая ее будущих деятелей».

Защитив в Страсбурге диссертацию «Об измерении диэлектрических постоянных паров и о теории диэлектриков Моссоти – Клаузиуса», Лебедев вернулся в Россию и стал работать в Московском университете у Столетова в должности лаборанта. Последним выступлением в Страсбурге и первой его печатной публикацией в Москве была небольшая заметка «Об отталкивательной силе лучеиспускающих тел». Она начиналась словами: «Maxwell показал, что световой или тепловой луч, падая на поглощающее тело, производит на него механическое давление в направлении падения; величину этой давящей, силы p можно выразить в форме:

$$p = E/V$$

где E – энергия, которая падает в единицу времени на поглощающее тело, а V – скорость луча в той среде, в которой находится тело».

Итак, первая русская статья П. Н. Лебедева начиналась указанием на существование светового давления. Световому давлению была посвящена и последняя, оставшаяся незаконченной, статья Лебедева. Исследование светового давления стало делом жизни Петра

Николаевича.

В заметке об отталкивательной силе лучеиспускающих тел Лебедев показывает, что при малых размерах тела, находящегося под воздействием силы тяготения со стороны Солнца, она может быть сравнима с отталкивательной силой давления солнечных лучей. Лебедев пишет: «...Пылинки, радиус которых не превышает одной тысячной миллиметра, будут отталкиваться при 0°C в мировом пространстве с силой, порядок которой в миллион раз превышает порядок сил их ньютоновского притяжения». Однако для молекул, как указывает Лебедев, произведенные расчеты неприменимы. «Взаимодействие молекул можно рассматривать как более сложный случай, как действие резонаторов друг на друга».

Исследованию этого «более сложного случая» Лебедев посвятил свою докторскую диссертацию «Экспериментальное исследование пондеромоторного Действия волн на резонаторы». Эта Диссертация заняла у Лебедева немало времени и сил. Он начал работу над темой в 1894 г., в котором вышла первая часть его работы посвященная действию электромагнитных волн. В 1896 г. была опубликована статья, посвященная действию гидродинамических волн, в 1899 г. – статья, описывающая действие акустических волн. В 1899 г. Лебедев опубликовал отдельной брошюрой все три статьи, которым предпослал особое «Введение». В 1900 г. за эту работу, представленную как магистерская диссертация, Лебедев получил ученую степень доктора, минуя магистерскую степень. Это была высокая оценка факультетом его труда.

Лебедев начинает «Введение» с упоминания о «гениальных работах» Герца, которые «открыли исследованию необозримую область явлений». Лебедев указывает, что работы Герца направлены на исследование источников электромагнитного излучения и, следовательно, приводят «к одному из наиболее сложных вопросов современной физики – к учению о молекулярных силах». «...Мы должны утверждать, – пишет Лебедев, – что между двумя лучеиспускающими молекулами, как между двумя вибраторами, в которых возбуждены электромагнитные колебания, существуют пондеромоторные силы...»

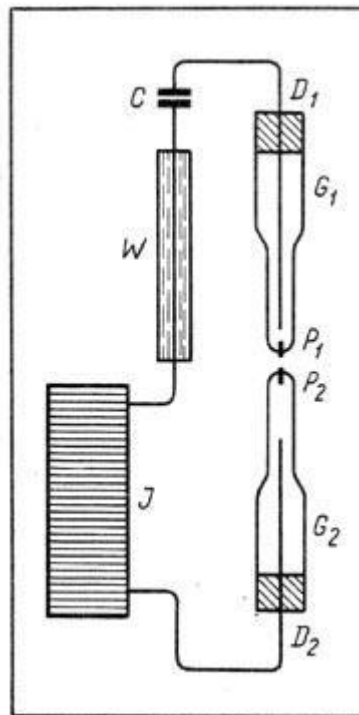


Рис. 49. Схема опыта П.Н. Лебедева по получению ультракоротких волн. Лебедев с целью исследования этих сил изучает действие волн на колеблющуюся систему. Такая система – резонатор – моделирует молекулу. Изучая действие электромагнитных волн на резонатор, Лебедев исследует отдельно действие магнитного и действие электрического вектора волны.

Магнитный осциллятор, возбуждаемый магнитным вектором падающей волны, представлял собой миниатюрную катушку из четырех витков серебряной проволоки, соединенную с конденсатором из двух пластинок, вырезанных в форме «бисквитов» квадрантного электрометра. Вся система была подвешена на чувствительном подвесе.

Электрический резонатор состоял из двух цилиндрических квадрантов, собранных из отдельных алюминиевых полосок, соединенных с катушкой самоиндукции из серебряной проволоки, подвешенной так, что магнитный вектор не мог вызвать ее замыкания и только электрические силы могли действовать на заряды конденсатора.

Лебедев показал, что законы пондеромоторного действия волн на магнитные и электрические резонаторы тождественны. Если частота колебаний резонатора выше частоты падающей волны (частота вибратора), то он притягивается к вибратору, ниже настроенный резонатор отталкивается. Притяжение сменяется отталкиванием при переходе через резонанс.

Лебедев изучил далее действие гидродинамических волн, возбуждаемых соответствующим вибратором, на гидродинамический резонатор, представляющий собой шарик на стальной пружине.

Здесь он также обнаружил притяжение при частотах резонатора более высоких, чем частота вибратора, и отталкивание в противоположном случае и смену притяжения отталкиванием при переходе через резонанс. В последней части своего исследования Лебедев обратился к акустическим волнам. Здесь также наблюдались притяжения и отталкивания в зависимости от отношения частот вибратора и резонатора, но только в непосредственной близости от вибратора. По мере увеличения расстояния до резонатора притягивательные силы уменьшаются и на достаточно большом расстоянии полностью исчезают, остаются лишь отталкивающие силы, достигающие наибольшей величины при резонансе.

Лебедев считал, что обнаруженная им тождественность пондеромоторных сил в столь различных явлениях показывает, что элементарные законы этих явлений должны быть независимы от природы волн и воспринимающих их резонаторов. Отсюда вытекает возможность распространения этих законов на область молекулярного излучения и взаимодействия молекул. Однако, указывает Лебедев, «нет никаких данных, позволяющих сказать что-либо определенное о свойствах молекул-резонаторов».

Важнейшими достижениями П. Н. Лебедева были его классические опыты по световому давлению, принесшие ему всемирную славу. Предварительное сообщение о своей работе по измерению давления света на твердые тела Лебедев сделал в 1899 г. С докладом о своих опытах он выступил на Всемирном конгрессе физиков в Париже в 1900 г. Сама работа «Опытное исследование светового давления» была опубликована в 1901 г. на немецком языке в журнале «Annalen der Physik» и в сокращенном изложении на русском языке в ЖРФХО. Эта работа многократно описывалась в учебниках, статьях и книгах, и -мы здесь ограничимся только кратким рефератом статьи, сделанным самим Лебедевым для немецкого реферативного журнала «Fortschritte der Physik»: «...Автор исследует пондеромоторные силы, с которыми белый, красный и голубой свет действуют на поглощающие, покрытые платиновой чернью, и отражающие (алюминий, платина, никель и слюда) крылья в высоком вакууме.

Опыты были проведены с тремя различными приборами и с двумя различными калориметрами; они были разбиты на десять независимых групп, и их результаты сводятся к следующему:

1. Падающий пучок световых лучей оказывает давление как на поглощаю-Щее, так и на отражающее тело; это пондеромоторное действие не зависит ни от известных вторичных крутковых сил, вызываемых нагреванием, ни от явлений конвекции.
2. Эти силы светового давления прямо пропорциональны падающему количеству энергии и не зависят от цвета световых лучей.
3. Эти силы светового давления в пределах ошибок наблюдения количественно дают

полное совпадение с пондеромоторными силами излучения, вычисленными Максвеллом и Бартоли.

Таким образом, существование сил давления световых лучей, предсказанных Максвеллом и Бартоли, доказано экспериментально».

Итальянский физик Адольфо Бартоли (1851–1896), о котором упоминает здесь Лебедев, обосновал из термодинамических соображений в 1876 г. существование светового давления. В своей последней статье «Давление света» Лебедев предполагал посвятить доказательству Бартоли целый параграф. Этот параграф был написан П. П. Лазаревым.

Результат Лебедева произвел огромное впечатление. В. Томсон (лорд Кельвин) признавался К. А. Тимирязеву, что он всю жизнь воевал с Максвеллом из-за его светового давления, но Лебедев теперь заставил его признать свою неправоту.

В 1901 г. Лебедев становится профессором Московского университета, в котором он десять лет назад начинал работу у Столетова в скромной должности лаборанта. Теперь он всемирно известный ученый, глава школы физиков, в которой под его руководством работают десятки учеников. Из школы Лебедева вышли такие известные советские ученые, как академик П. П. Лазарев, в свою очередь создавший школу, чл.-кор. Академии наук СССР

В. К. Аркадьев, также глава школы магнетологов и радиофизиков. Учениками Лебедева были А. Б. Млодзеевский, Т. П. Кравец, К. П. Яковлев, В. Д. Зернов, Н. Е. Успенский, Р. А. Колли, В. И. Романов, А. К. Тимирязев, Н. А. Капцов и многие другие.

Вначале исследования П. Н. Лебедева и его учеников выполнялись в неудобных для научных изысканий лабораториях общего практикума, устроенных еще Столетовым.

Приборов не хватало. Средства, отпускаемые на нужды лаборатории, были очень малы. Работали после 3 часов, когда кончались занятия в практикуме. Поэтому Лебедеву постоянно приходилось вести борьбу за улучшение условий для исследовательской работы, что отнимало у него много сил и времени.

Обстановка для исследований улучшилась после создания в 1903 г. физического института. Здесь было отведено две большие комнаты во втором этаже под лабораторию Лебедева и полуподвальное помещение для исследований молодых учеников Лебедева.

Приборов было еще очень мало, не хватало столов, вместо них иногда использовались ящики из-под оборудования, но это была уже настоящая исследовательская лаборатория, где можно было работать в любое время. Как вспоминал Н. А. Капцов, Лебедев появлялся в лаборатории в 11 часов и начинал обход своего «подвала», подолгу беседуя с каждым работающим, требуя сознательного отчета обо всем проделанном. Затем Лебедев отправлялся в мастерские. Его интересовало усвоение учениками навыков ручной работы.

Лебедев был очень требователен к своим ученикам, он «требовал, чтобы каждый из работающих в лаборатории строго продумывал весь план своей работы. Но этот план исследовательской работы должен был быть не застывшим и раз и навсегда установленным, а действенным и живым».

Молодым ученикам Лебедева очень помогали организованные им еще в Столетовской лаборатории коллоквиумы.

Они проводились раз в неделю. Ученики Лебедева делали доклады, затем следовало обсуждение, сам П. Н. Лебедев выступал на этих коллоквиумах с сообщениями о последних достижениях физики. На этих коллоквиумах все – начиная со студента и кончая руководителем – чувствовали себя членами большой семьи, и таким путем создавалось то единение работающих, которыми всегда отличалась лебедевская лаборатория. Из коллоквиумов в сплотившемся выросло Московское физическое общество, основателем и первым председателем которого был П. Н. Лебедев. Питомцы лебедевской школы и их ученики составили большой отряд советской физики.

В 1902 г. Лебедев выступил на съезде Немецкого астрономического общества с докладом, в котором вновь вернулся к вопросу о космической роли светового давления. В историческом обзоре этого доклада Лебедев напоминает о гипотезе Кеплера, который предположил, что отталкивание кометных хвостов Солнцем обусловлено давлением его

лучей на частицы хвоста. Действие света на молекулу, указывает Лебедев, зависит от ее избирательного поглощения. Для лучей, поглощаемых газом, давление обусловлено законом Максвелла, лучи, не поглощаемые газом, действие на него не оказывают. Лебедев ставит задачу определить давление света на газы. Эта многолетняя работа, потребовавшая от экспериментатора много сил и остроумия, подводила итог всей его научной деятельности начиная с 1891 г.

Для измерения малых сил давления Лебедев ставил эксперимент таким образом, чтобы «газ свободно мог перемещаться в направлении пронизывающих его лучей и производил давление на очень чувствительный поршневой аппарат, на который лучи света непосредственно действовать не могли». Чтобы избежать влияния конвекционных токов, Лебедев смешивал газ с водородом, обладающим значительной теплопроводностью, что позволяло быстро выравнивать плотность в разных точках газа. Эта трудная экспериментальная работа осталась непревзойденным образцом экспериментального искусства.

За работы по давлению света Лебедев был избран в 1911 г. почетным членом Королевского института в Лондоне.

Лебедев глубоко интересовался проблемами астрофизики, активно работал в Международном союзе по исследованию Солнца, написал ряд статей о кажущейся дисперсии межзвездной среды. Открытие Хейлом магнетизма солнечных пятен направило его внимание на исследование магнетизма вращения.

В последние годы жизни его внимание привлекла проблема ультразвука. Этими вопросами занимались его ученики В. Я. Альтберг и Н. П. Неклепаев. Сам Лебедев написал заметку «Предельная величина коротких акустических волн».

Его ученики П. П. Лазарев и А. К. Тимирязев исследовали явление внутреннего трения в разреженных газах. Но вся эта напряженная работа оборвалась в 1911 г., когда Лебедев вместе с другими профессорами покинул университет в знак протеста против действий реакционного министра просвещения Кассо. Русская и международная общественность поспешила на помощь Лебедеву, но силы его были подорваны, и 14 марта 1912 г. П. Н. Лебедев скончался.

В историю физики Лебедев вошел как первоклассный экспериментатор, решивший ряд труднейших проблем современной ему физики. Значение Лебедева для России не исчерпывается этим. Он был создателем московской Школы физиков. Вышедшие из этой Школы ученые сыграли важную роль в становлении советской физики.

Изобретение радио

А. С. Попов



Как известно, Герц не предвидел возможности применения электромагнитных волн в технике. В самом деле, было трудно увидеть в слабых искорках, которые Герц рассматривал в лупу, будущее средство связи, перекрывающее ныне космические расстояния до Венеры и Марса и позволяющее управлять самоходным аппаратом на Луне. Даже человеку с неистощимой фантазией, знаменитому писателю Жюлю Верну не удалось предвидеть радиосвязь, и герои его романа «Плавучий остров», написанного после опытов Герца, не знают способов беспроводной связи.

Вообще между принципиальным открытием и его техническим приложением лежит огромное расстояние. Эйнштейн не предвидел в обозримом будущем возможной реализации соотношения $E=mc^2$, Резерфорд считал химерой использование атомной энергии. Только люди с особыми способностями могут найти разумное техническое воплощение научной идеи. Именно такими способностями обладал замечательный русский физик Александр Степанович Попов, продемонстрировавший примерно через год после смерти Герца первый радиоприемник, открывший возможность практического использования электромагнитных волн для целей беспроволочной связи.

Александр Степанович Попов родился 16 марта 1859 г. на Урале (поселок Турьинский рудник) в семье священника. После окончания в 1877 г. общеобразовательных классов Пермской духовной семинарии он не стал продолжать духовное образование, а поступил на физико-математический факультет Петербургского университета. В университете его увлекла электротехника. Он работал монтером в товариществе «Электротехник», и первые его труды в 1882 г. были посвящены динамо-электрическим машинам.

Хотя Попов был оставлен при университете для подготовки к профессорскому званию, он долго не пробыл в аспирантуре, как бы сказали сейчас, и с 1883 г. стал преподавателем Минного офицерского класса в Кронштадте, совмещая эту должность с педагогической работой в Техническом училище Морского ведомства в Кронштадте. В Минном офицерском классе Попов проработал до 1901 г., когда он был избран профессором кафедры физики Электротехнического института в Петербурге. В 1905 г. он был избран директором института и в этой должности скончался от кровоизлияния в мозг 13 января 1906 г. *(Даты рождения и смерти А. С. Попова указаны по новому стилю. По старому стилю А. С. Попов родился 4 марта 1859 г., а умер 31 декабря 1905 г.)*

По роду своей служебной деятельности А. С. Попов был тесно связан с военно-морским флотом, и именно во флоте произошло рождение великого открытия. Исторические условия для открытия созрели, к нему разными путями в разных странах почти одновременно шли несколько людей: Попов, Резерфорд, Маркони и другие. Первым

добился успеха А. С. Попов.

В 1889 г. А. С. Попов прочитал в собрании минных офицеров цикл лекций «Новейшие исследования о соотношении между световыми и электрическими явлениями» по следующей программе:

1. Условия происхождения колебательного движения электричества и распространение электрических колебаний в проводниках.
2. Распространение электрических колебаний в воздухе – лучи электрической силы. Отражение, преломление и поляризация электрических лучей.
3. Акиноэлектрические явления – действие света вольтовой дуги на электрические заряды».

Эти лекции сопровождалась демонстрациями опытов Герца. Они имели большой успех, и Морской технический комитет предложил морскому министерству повторить лекции с демонстрациями в Петербурге, в Морском музее для петербургских офицеров. «Опыты, произведенные германским профессором Герцем в доказательство тождественности электрических и световых явлений, – говорилось в этом предложении, – представляют большой интерес не только в строго научном смысле, но также и для уяснения вопросов электротехники».

Очевидно, что А. С. Попов уже говорил в своих лекциях о возможности практического использования волн Герца, и руководящие лица русского военно-морского флота заинтересовались этим. Морское министерство согласилось на повторение лекций Попова в Петербурге и выделило необходимые средства на перевозку приборов. Лекция «Об электрических колебаниях с повторением опытов Герца» состоялась в Морском музее 3 апреля 1890 г. Можно с большим основанием утверждать, что А. С. Попов был не только одним из первых в России «пропагатором герцологии» (термин Столетова), но и тем, кто сразу оценил практическое значение открытий Герца и начал решать задачу их технического использования. 7 мая 1895 г. А. С. Попов на заседании физического отделения Русского физико-химического общества продемонстрировал сконструированный им радиоприемник. Этот день в нашей стране ежегодно отмечается как день рождения радио.

Детектором электрических колебаний в приемнике Попова был изобретенный в 1890 г. французским физиком Эдуардом Бранли (1844–1940) прибор, названный английским ученым Оливером Лоджем (1851–1940) когерером. Это был своеобразный полупроводник. Стеклянная трубка, заполненная металлическими опилками, была плохим проводником электричества. Однако под воздействием электрических колебаний ее электропроводность резко возрастала. В опытах Бранли она менялась от миллионов до сотен и десятков ом. Это уменьшение сопротивления сохраняется и после прекращения воздействия колебаний «иногда более 74 часов», по наблюдению Бранли. Трубку можно вернуть в состояние плохой электропроводности «слабыми отрывистыми ударами по дощечке, которая поддерживает трубку».

Лодж в 1894 г. прочитал в Лондонском Королевском обществе лекцию памяти Герца под названием «Творение Герца». Здесь он говорил и о трубке Бранли: «Этот прибор, который я называю когерером, удивительно чувствителен как детектор герцевских волн». В опытах Лоджа когерер чувствовал влияние искры на расстоянии сорока ярдов (около 40 м). Лодж применял различные способы приведения когерера в рабочее состояние, в том числе и с помощью вибраций электрического звонка, смонтированного на одной доске с когерером.

Однако Лодж не додумался до использования звонка и как регистратора поступившего сигнала и как автомата для приведения когерера в рабочее состояние. Это сделал А. С. Попов. Попов же применил антенну для улавливания электромагнитных волн. Сочетав звонок, когерер, антенну, А. С. Попов построил прибор, который позже (в июле 1895 г.) был назван Д. А. Лачиновым «грозоотметчиком», имея в виду его применение как регистратора грозовых разрядов. Однако Попов своим приемником пользовался и для приема волн, создаваемых передатчиком. В своей статье «Прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний», опубликованной в журнале Русского физико-химического

общества в 1896 г., А. С. Попов писал: «В соединении с вертикальной проволокой длиной 2,5 метра прибор отвечал на открытом воздухе колебаниям, произведенным большим герцевым вибратором (квадратные листы 40 сантиметров в стороне) с искрой в масле, на расстоянии 30 сажень».

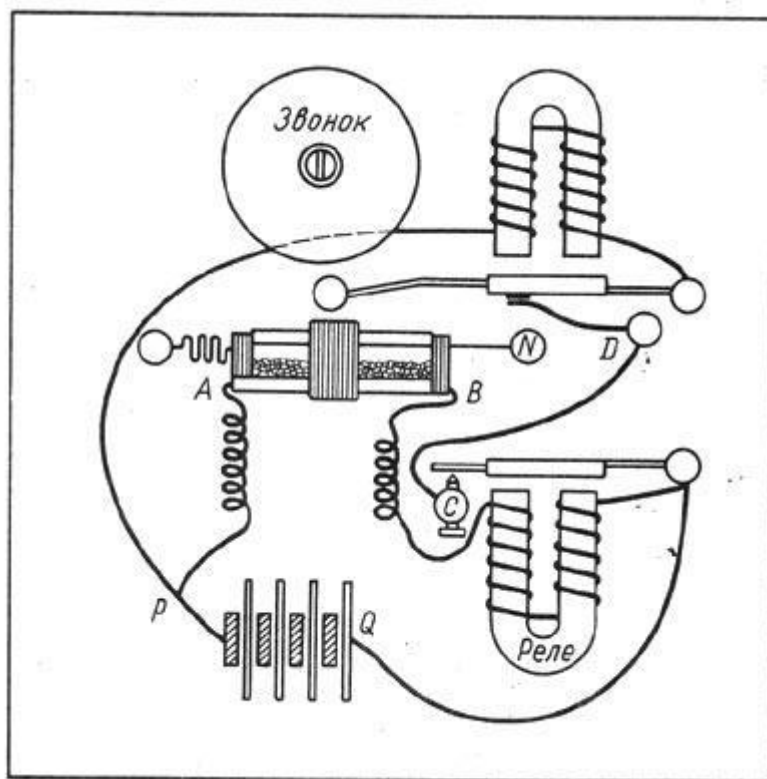


Рис. 50. Схема приёмника Попова

Эти строки писались в декабре 1895 г. Таким образом, А. С. Попов в 1895 г. проводил опыты по передаче и приему электромагнитных волн на расстояние до 60 м. Летом того же года его прибор использовался для регистрации электрических возмущений в атмосфере как при наличии грозных разрядов, так и при отсутствии гроз. А. С. Попов заканчивал свою статью словами, что «прибор при дальнейшем усовершенствовании его может быть применен к передаче сигналов на расстоянии при помощи быстрых электрических колебаний». При этом он указывал на необходимость создания достаточно мощного генератора таких колебаний.

20 января 1897 г. А. С. Попов выступил на страницах газеты «Котлин» со статьей «Телеграфирование без проводов». Заглавие статьи ясно указывает, что в ней речь идет не о передаче и приеме спорадических сигналов, а о «телеграфировании», т. е. передаче и приеме осмысленного текста условным кодом. Статья появилась в связи с сообщением об опытах Маркони. Попов напоминает, что прибор, аналогичный описанному в сообщении, был им построен в 1895 г. и демонстрировался на заседании физического отделения Русского физико-химического общества в апреле (7 мая по н. ст.). Он указывает, что его прибор «приспособлен для опытов с электромагнитными волнами» и демонстрировался на научных заседаниях и лекциях.

А С. Попов указывает, что с помощью этого прибора он отмечал грозные разряды на расстоянии «более 25 верст». Он подчеркивает, что сигнализация электрическими волнами «и сейчас возможна», но герцевские вибраторы как источник электрических лучей «очень слабы». Указав, что действие тумана на электрические волны «не было наблюдаемо», Попов подчеркивает, что «можно ожидать существенной пользы от применения этих явлений в морском деле...». И в дальнейшем А. С. Попов неустанно работает над разработкой радиотелеграфной связи для флота.

Работая для флота и отчетливо понимая всю важность этой работы для своей родины, А. С. Попов не спешил с печатными публикациями, стремясь информировать лишь специальную аудиторию: морских офицеров и ученых. Но с момента появления в печати сведений о работе Маркони А. С. Попов был вынужден выступить в защиту своего приоритета. Статья в газете «Котлин» от 20 января 1897 г. была первым таким выступлением А. С. Попова.

Гульельмо Маркони (1874–1937) в июне 1896 г. сделал заявку на патент для своего изобретения. Патент на «усовершенствование в передаче электрических импульсов и сигналов и в аппаратуре для этого» был выдан Маркони 2 июля 1897 г., т. е. спустя более двух лет после демонстрации А. С. Поповым своего приемника. Патент Маркони был английским и закреплял его приоритет в Англии. А. С. Попов ограничился сообщением 7 мая 1895 г. и печатной публикацией 1896 г. и своего изобретения ни в России, ни где бы то ни было не патентовал.



Г. Маркони

Исторически приоритет А. С. Попова бесспорен, он бесспорен с точки зрения научного приоритета. Но юридически патент Маркони, хотя и является только английским, был первым правовым актом, закрепляющим авторство изобретателя. Маркони был капиталистическим дельцом, он ничего не публиковал и не сообщал до подачи заявки на патент, он стремился закрепить не научный, не исторический приоритет, а юридический. И хотя истории науки нет никакого дела до юридической стороны, она решает вопрос с точки зрения исторической правды, находятся историки науки, которые защищают приоритет Маркони.

Заслуга Маркони в дальнейшем развитии радио бесспорна, в развитии, но не в открытии. Исторически точно установленным фактом является тот факт, что открытие радио было сделано А. С. Поповым и дата первого публичного сообщения об этом открытии 25 апреля старого стиля, 7 мая нового стиля 1895 г. является датой одного из величайших изобретений в истории человеческой культуры.

А. С. Попов и Г. Маркони шли от одной схемы радиоприемника, используя принцип когерера. Другим путем проблему передачи сигналов на расстояние пытался решить Эрнест Резерфорд (1871–1937). Еще находясь в Новой Зеландии, он изучал намагничивание железа высокочастотными разрядами. Результаты своих исследований он опубликовал в «Трудах Ново-Зеландского института» за 1894 г. Переехав в Кембридж, он продолжал заниматься этим вопросом и, установив уменьшение намагничивания стального стержня под влиянием электрических колебаний, предложил воспользоваться этим эффектом для детектирования электрических колебаний. Статья Резерфорда «Магнитный детектор электрических волн и некоторые его применения» была опубликована в 1897 г., в год выдачи патента Маркони. В этой статье Резерфорд сообщил, в частности, об использовании детектора в опытах по обнаружению электромагнитных волн на больших расстояниях. Он писал: «Мы работали с вибратором Герца, имеющим пластины площадью 40 см² и короткий разрядный контур; мы

получили достаточно большое отклонение магнитометра на расстоянии 40 ярдов, причем волны проходили через несколько толстых стенок, расположенных между вибратором и приемником». «В дальнейших опытах была поставлена задача– определить максимальное расстояние от вибратора, на котором можно обнаружить электромагнитное излучение...» «Первые опыты проводились в лабораториях Кембриджа, причем приемник находился в одном из дальних зданий. Достаточно большой эффект был получен на расстоянии около четверти мили от вибратора, и, судя по величине отклонения, эффект можно было бы заметить на расстоянии, в несколько раз большем...»

Но в том же, 1897 г., когда была опубликована эта статья, Резерфорд узнал о результатах Маркони и прекратил дальнейшие опыты с своим детектором. Его внимание привлекла область, в которой ему было суждено обессмертить свое имя, – радиоактивность. Проводя исследования в этой области, он пришел к открытию атомного ядра и первых ядерных реакций.

История открытия радио, в которой сплелись имена многих исследователей разных стран, еще раз подтверждает важный закон истории науки, о котором писал ф. Энгельс в 1894 г., за год до открытия радио, говоря, что, если время для открытия созрело, «это открытие должно было быть сделано». (*Энгельс ф. В. Боргиусу. – Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 39, с. 176.*)

Открытие радио подтвердило справедливость теории Максвелла высшим критерием истины – практикой. Теория Максвелла выдвинула перед физикой ряд острых и глубоких вопросов, решение которых привело к новому революционному этапу в истории физики.

Часть III. Основные направления научной революции в физике XX в.

Глава первая. Электродинамика движущихся сред и электронная теория

Электродинамика движущихся сред и электронная теория

А. Майкельсон



Школа предоставила Майкельсону отпуск на два года, 1881-1882 гг.

Во время этого отпуска Майкельсон построил в Берлине первую модель своего знаменитого интерферометра и произвел его испытание в лаборатории Гельмгольца. Вибрации, вызываемые большим движением шумного города, мешали нормальной работе чувствительного прибора. Майкельсон разобрал его и установил в Потсдаме на прочном кирпичном фундаменте большого телескопа. Результаты своего опыта он опубликовал в 1881 г. в статье «Относительное движение Земли и светоносного эфира». Никакого относительного движения обнаружить не удалось.

Вернувшись в Америку, Майкельсон приступил к исполнению обязанностей профессора школы прикладной науки Кейса в Кливленде. Здесь он в сотрудничестве с профессором химии соседнего университета Эдвардом Морли (1838–1923) начал готовить повторение своего эксперимента. Предварительно они повторили опыт физика с измерением скорости света в движущейся воде и результаты опубликовали в 1886 г. в статье «Влияние движения среды на скорость света». Опыт с большой точностью подтвердил результат физика 1851 г. В этой же работе они определили коэффициент увлечения Френеля.

Затем они повторили опыт по изучению влияния движения Земли на распространение света. Интерферометр был смонтирован на каменной плите толщиной 30 см. Плита плавала в ртути на кольцеобразной деревянной подставке. На ней было установлено четыре зеркала, так что общий оптический путь интерферирующих пучков в результате многократного отражения увеличивался до 11 м (почти в 10 раз больше, чем в первом опыте). Опыты были закончены в июле 1887 г. Результат оказался также отрицательным, ожидаемого смещения почти не наблюдалось. Статья Майкельсона и Морли «Об относительном движении Земли и светоносного эфира» была опубликована в 1887 г.

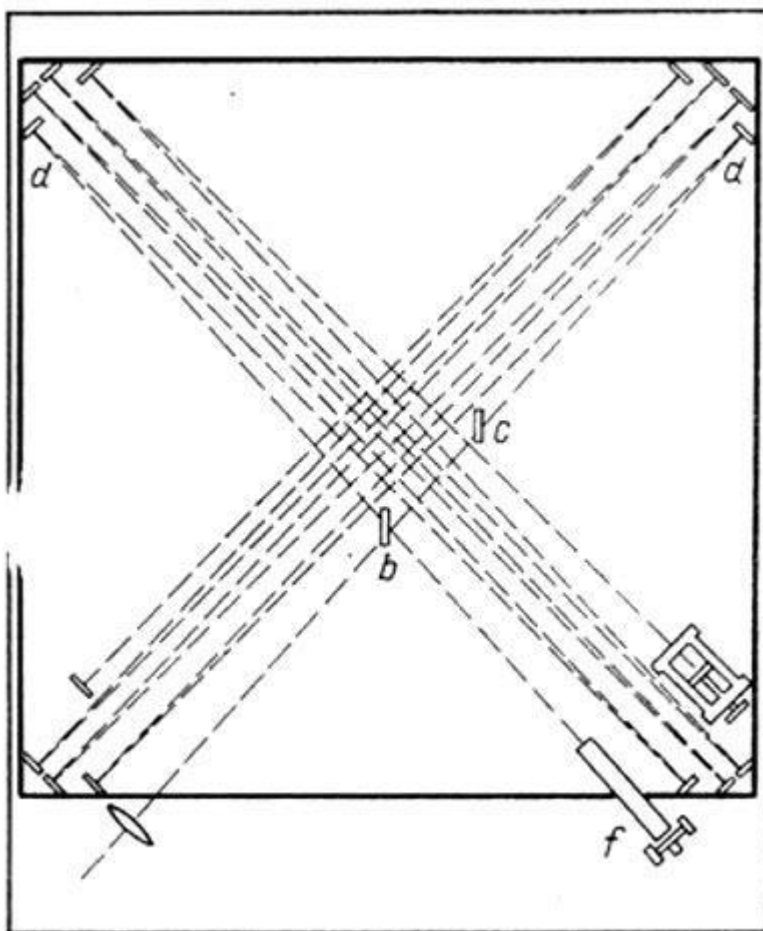


Рис. 51. Схема опыта Майкельсона - Морли

В этом же году Герц начал свои знаменитые опыты, а Майкельсон и Морли опубликовали еще одну работу «О методе использования длины волны света натрия в

качестве естественного и практического эталона длины». Она предшествовала классическим опытам Майкельсона по сравнению эталона метра с длиной волны красной линии кадмия, которые Майкельсон проводил в Париже в 1892 г. К этому времени Майкельсон был уже профессором университета Кларка. После этих экспериментов он перешел в Чикагский университет, где в 1894 г. была открыта Райерсоновская физическая лаборатория. Здесь

Майкельсон остался до конца своих дней, продолжая работы по изготовлению спектроскопических приборов большой разрешающей способности (эшелон Майкельсона), измерению диаметра звезд и опыты по новому определению скорости света.

Майкельсон умер 9 мая 1931 г. За несколько месяцев до смерти, в январе 1931 г., он встретился на конференции в Пасадене с Эйнштейном.

Опыт Майкельсона был подробно описан и проанализирован Г. А. Лоренцем в статье «О влиянии движения Земли на световые явления», опубликованной в «Известиях Амстердамской Королевской академии наук» в 1886 г. за год до опыта Майкельсона и Мор-ли. французский текст этой статьи был опубликован в 1887 г. Этой статьей Лоренц начал цикл своих работ, посвященных электродинамике и оптике движущихся сред. Ее содержание было повторено в лекциях по теоретической физике («Теория и модели эфира»), вышедших на немецком языке в 1907 г., на английском – в 1927 г., на русском – в 1936 г. В этой статье Лоренц указывал на ошибку в расчете Майкельсона: Майкельсон считал, что свет в направлении, перпендикулярном движению Земли, распространяется так же, как если бы Земля и аппарат были неподвижны. Исправив эту ошибку, Лоренц показал, что ожидаемое смещение полос должно быть значительно меньше, чем предполагал Майкельсон, и будет составлять только – часть ширины полосы, что ниже предела достоверной наблюдаемости. Но в 1887 г. Майкельсон и Морли сделали прибор значительно чувствительнее, и, как было уже сказано, результат был вновь отрицательным. Это противоречило всем сложившимся к тому времени теориям, за исключением теории, созданной в 1890 г. Герцем.

В 1890 г. Герц опубликовал две статьи: «Об основных уравнениях электродинамики в покоящихся телах» и «Об основных уравнениях электродинамики для движущихся тел». Эти статьи содержали исследования о распространении «лучей электрической силы» и в сущности давали то каноническое изложение максвелловской теории электрического поля, которое вошло с тех пор в учебную литературу.

В первой из этих статей Герц указывает, что теория Максвелла при своем зарождении была загромождена «лесами» (имеется в виду образ строительных лесов), которые необходимо было убрать. К числу таких лесов он относил и «господство вектор-потенциала в основных уравнениях». Его основные уравнения связывают непосредственно компоненты напряженностей электрических и магнитных полей, именно эти уравнения мы называем теперь «уравнениями Максвелла». Герц считает их фундаментальными законами, не выводимыми из каких-либо других фундаментальных принципов или с помощью воображаемых механизмов.

Во второй статье Герц для получения уравнений электродинамики движущихся тел делает основное предположение, что эфир, находящийся внутри движущейся материи, движется одновременно с ней. Эта гипотеза полного увлечения эфира самым естественным образом объясняет отрицательный результат опыта Майкельсона. Однако она противоречит другим фактам: аберрации, опыту физо, опытам Рентгена и Эйхенвальда в электродинамике.

Лоренц рассматривает оптические опыты в указанной выше статье, а также в большой программной работе 1895 г. «Опыт теории оптических и электрических явлений в движущихся телах». Этими работами Лоренц закладывает основы электронной теории.

Гендрик Антон Лоренц родился 18 июля 1853 г. в небольшом голландском городе Арнхеме. Он учился в Лейденском университете, где в 1875 г. получил докторскую степень. Здесь он занимал пост профессора специально для него учрежденной кафедры теоретической физики. В 1912 г. Лоренц ушел на должность экстраординарного профессора кафедры и предложил своим преемником жившего тогда в России П. С. Эренфеста. Эренфест заведовал

кафедрой в Лейдене с осени 1912 г. до своей трагической кончины осенью 1933 г. Лоренц в 1923 г. занял должность директора научного института в Гарлеме. С момента учреждения Сольвеевского фонда Лоренц был неизменным председателем Сольвеевских конгрессов. Скончался Лоренц 4 февраля 1928 г.

Г. А. Лоренц



В историю физики Лоренц вошел как создатель электронной теории, в которой синтезировал идеи теории поля и атомистики. Идея атома электричества, как мы знаем, начинается с фарадея, с его законов электролиза.

Максвелл в своем «Трактате» также приходит к идее атомного, или, как он выражается, молекулярного, заряда. Этот заряд он называет «молекулой электричества» и пишет, что «эта теория молекулярных зарядов может служить для выражения большого числа фактов электролиза; но,— добавляет Максвелл, — мало вероятно, чтобы к тому времени, когда мы познаем истинную природу электролиза, мы сохраним хоть что-нибудь из теории молекулярных зарядов; тогда у нас будет твердая основа для того, чтобы создать истинную теорию электрического тока и освободиться от этих представлений».

Максвелл полагал, что в будущем полевые представления сделают излишними представления о дискретности заряда. Он ошибся. Наука сохранила и развила представление об атомности электричества. В 1874 г. ирландский физик Джонсон Стоней (1826–1911) самым решительным образом высказался в защиту представления об элементарном заряде. В докладе «О физических единицах природы», прочитанном на съезде Британской ассоциации в Белфасте, он говорил: «Наконец, природа дает нам одно, вполне определенное количество электричества, независимое от рассматриваемых тел. Чтобы выяснить это, я формулирую закон Фарадея в следующих выражениях, которые, как я покажу, придадут ему ясность. На каждую химическую связь, разорванную внутри электролита, приходится определенное, всегда одинаковое количество электричества, прошедшее через электролит. Это определенное количество электричества я назову E_1 . Если мы примем его за единицу электричества, мы, вероятно, сделаем весьма большой шаг в изучении молекулярных явлений». Позднее (1891) Стоней ввел название «электрон» для величины E_1 .

В 1881 г. Гельмгольц в речи, посвященной фарадею, высказал его идею об атомности электричества в четко определенной форме: «Если мы допускаем существование химических атомов, то мы принуждены заключить отсюда далее, что также и электричество, как положительное, так и отрицательное, разделяется на определенные элементарные количества, которые играют роль атомов электричества». Это элементарное количество электричества Гельмгольц назвал электрическим зарядом иона. Стоней указал на свой приоритет в интерпретации закона Фарадея, однако, как мы видели, приоритет принадлежит

самому фарадею.

Следует отметить, что речь Гельмгольца сыграла очень важную роль в развитии представления об электрическом заряде, она фигурировала в многочисленных статьях и книгах как первоисточник этого представления, и, может быть, большая популярность Гельмгольца была причиной того, что собственные высказывания фарадея были по существу забыты.

Лоренц начал вводить в теорию электричества атомистику еще в ранних своих работах. В теории Максвелла свойства среды, в которой разыгрываются электромагнитные и оптические явления, описываются феноменологически коэффициентами, определяемыми из опыта. Лоренц уже в докторской диссертации (1875) «Об отражении и преломлении лучей света» пытается обосновать изменение в скорости распространения света в среде влиянием наэлектризованных частичек тела. Под действием световой волны заряды молекул приходят в колебательное движение и становятся источниками вторичных электромагнитных волн. Эти волны, интерферируя с первичными, и обуславливают преломление и отражение света. Здесь уже намечены те идеи, которые приведут к созданию электронной теории дисперсии света.

В следующей статье – «О соотношении между скоростью распространения света и плотностью и составом среды», опубликованной в 1878 г., Лоренц выводит знаменитое соотношение между показателем преломления и плотностью среды, известное под названием «формулы Лоренц – Лоренца», поскольку датчанин Л. Лоренц независимо от Гендрика Лоренца пришел к тому же результату. В этой работе Лоренц развивает электромагнитную теорию дисперсии света с учетом того, что на молекулярный заряд, кроме поля волны, действует поле поляризованных частиц среды.

В 1892 г. Лоренц выступил с большой работой «Электромагнитная теория Максвелла и ее приложение к движущимся телам». В этой работе уже намечены основные контуры электронной теории. Мир состоит из вещества и эфира, причем Лоренц называет веществом «все то, что может принимать участие в электрических токах, электрических смещениях и электромагнитных движениях». «Все весомые тела состоят из множества положительно и отрицательно заряженных частиц, и электрические явления порождаются смещением этих частиц».

Лоренц выписывает далее выражение силы, с которой электрическое поле действует на движущийся заряд. В векторной форме и в гауссовых единицах сила, действующая на единицу объема заряженного тела (плотность силы) со стороны поля, равна:

$$\vec{f} = \rho(\vec{E} + \frac{1}{c} [\vec{v}\vec{H}]) .$$

Лоренц делает фундаментальное предположение – эфир в движении вещества участия не принимает (гипотеза неподвижного эфира). Это предположение прямо противоречило гипотезе Герца о полностью увлекаемом движущимися телами эфире. В предположении о неподвижном эфире Лоренц выводит, что скорость света в движущемся теле с показателем преломления ν равна:

$$w = \pm w_0 + \left(1 - \frac{1}{\nu^2}\right) p ,$$

где w_0 – скорость света в покоящемся теле, p – скорость движения тела.

Множитель

$$1 - \frac{1}{\nu^2}$$

есть в точности коэффициент увлечения, который был введен Френелем в теории аберрации и который был подтвержден опытами физико-Майкельсона и Морли.

Таким образом, коэффициент увлечения, введенный Френелем, и опыт Физо с движущейся водой интерпретируются Лоренцем как результат движения заряженных частиц вещества через неподвижный эфир. Однако об опыте Майкельсона и Морли Лоренц здесь ничего не говорит. Этому опыту он посвящает опубликованную в том же, 1892 г. заметку «Относительное движение Земли и эфира». В ней он описывает единственный, по его мнению, способ согласовать результат опыта с теорией Френеля, т. е. с теорией неподвижного эфира. Этот способ состоит в предположении, что линия, соединяющая две точки твердого тела, если она сначала была параллельна движению Земли, не сохраняет ту же самую длину, когда она затем поворачивается на 90° .

Если, как указывает Лоренц, длина в перпендикулярном направлении была l , то в направлении движения она будет $l(1 - a)$, и если

$$a = \frac{p^2}{2v^2},$$

где p – скорость Земли, v – скорость света, то отрицательный результат опыта Майкельсона становится объяснимым. Так появилось знаменитое сокращение Лоренца, которое, как выяснил Лоренц позже, было предложено также Фицджеральдом.

В своей статье Лоренц указывает, что его гипотеза не является невероятной и молекулярные силы, если они сводятся к электрическим, изменяются при движении тела через эфир так, что опыт Майкельсона становится объяснимым. Хотя Лоренц и понимает, что сведение молекулярных сил к электрическим является «чересчур смелым», он все же сохраняет гипотезу сокращения.

Это очень существенный факт с исторической точки зрения. Если принять, что основной силой природы является сила Лоренца, к которой, за исключением тяготения, сводятся все известные в то время взаимодействия частиц, то вполне объяснимо сокращение размеров тел при движении, а тем самым и отрицательный результат опыта Майкельсона.

Релятивистское изменение масштабов

$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2},$$

где $\beta = v/c$, в теории Лоренца является следствием определенных физических предпосылок. Заметим, что электродинамика дала и другой релятивистский результат: зависимость массы и энергии. Этот результат был получен в 1881 г. двадцатипятилетним Джозефом Джоном Томсоном (1856–1940) и опубликован в апреле 1881 г. в статье «Об электрическом и магнитном эффекте, обусловленном движением наэлектризованных тел».

Томсон вычисляет поле заряженной сферы, движущейся с некоторой скоростью. Характер этого поля зависит от скорости: при малых скоростях электрическое поле шара совпадает с электростатическим, магнитное поле – с полем элемента тока. При увеличении скорости силовые линии электрического поля «сдуваются» в экваториальную плоскость, поле деформируется. Вместе с тем возникает дополнительная электромагнитная масса заряда, которая при малых скоростях равняется $2/3 * (e)2/a$, где e – заряд сферы в электромагнитных единицах, a – радиус сферы. При приближении скорости к скорости света масса возрастает до бесконечности. «Другими словами, – пишет Томсон, – невозможно возрастание скорости заряженных тел, движущихся через диэлектрик, до скорости, большей скорости света». Таким образом, и релятивистский вывод о предельном значении скорости света был получен еще за два года до рождения Эйнштейна.

Итак, в конце XIX в. были получены важнейшие результаты специальной теории относительности: сокращение длин, зависимость массы от скорости, связь массы и энергии (с точностью до постоянного множителя), предельное значение скорости света. Но эти результаты были получены в предположении электромагнитной картины мира. Мир – это эфир, в котором плавают заряженные частицы. Законы мира: законы электродинамики

Максвелла и механики Ньютона.

Следовательно, электродинамика движущихся сред не вела с необходимостью к теории относительности, хотя исторически так и произошло. Опыт Майкельсона и релятивистские эффекты были следствием законов электродинамики Максвелла–Лоренца. Более того, сами релятивистские преобразования, из которых вытекали все релятивистские эффекты, были получены в электродинамике за несколько лет до Эйнштейна.

В 1895 г. вышла фундаментальная работа Лоренца «Опыт теории электрических и оптических явлений в движущихся телах». В этой работе Лоренц дает систематическое изложение своей электронной теории. Правда, слово «электрон» в ней еще не встречается, хотя элементарное количество электричества было уже названо этим именем. Лоренц просто говорит о заряженных положительно или отрицательно частичках материи – ионах и свою теорию соответственно называет «ионной теорией». «Я принимаю, – пишет Лоренц, – что во всех телах находятся маленькие заряженные электричеством материальные частицы (Massentilchen) и что все электрические процессы основаны на конфигурации и движении этих «ионов». Лоренц указывает, что такое представление общепринято для явлений в электролитах и что последние исследования электрических разрядов показывают, что «в электропроводности газов мы имеем дело с конвекцией ионов».

Другое предположение Лоренца заключается в том, что эфир не принимает участия в движении этих частиц и, следовательно, материальных тел, он неподвижен. Эту гипотезу Лоренц возводит к Френелю. Лоренц подчеркивает, однако, что речь идет не об абсолютном покое эфира, такое выражение он считает бессмысленным, а о том, что части эфира покоятся друг относительно друга и что все действительные движения небесных тел являются движениями относительно эфира.

Электромагнитное состояние эфира описывается векторами диэлектрического смещения и напряженностью магнитного поля. Эти векторы Лоренц обозначает готическими буквами. Мы будем обозначать их латинскими буквами. Уравнения электронной теории Лоренца мы выпишем в той окончательной форме, которую Лоренц им придал в своей статье 1903 г. «Электронная теория», в «Энциклопедии математических наук» и в книге «Теория электронов». В свободном (не заполненном веществом) эфире

$$\operatorname{div} \vec{d} = 0; \quad (1)$$

в тех точках, где находятся заряды, распределенные с объемной плотностью ρ ,

$$\operatorname{div} \vec{d} = \rho.$$

Если заряды движутся со скоростью v , имеется уравнение непрерывности:

$$\operatorname{div} \vec{d} = \rho. \quad (1a)$$

Движение электричества и изменение электрического смещения во времени создают магнитное поле, описываемое уравнением:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} (\rho \vec{v}) = 0. \quad (2)$$

Другое основное уравнение, связывающее электрическое и магнитное поле:

$$\operatorname{rot} \vec{h} = \frac{1}{c} (\dot{\vec{d}} + \rho \vec{v}). \quad (3)$$

$$\operatorname{rot} \vec{d} = -\frac{1}{c} \dot{\vec{h}} \quad (4)$$

$$\text{и } \operatorname{div} \vec{h} = 0. \quad (5)$$

Далее Лоренц выписывает закон силы, ныне называемой силой Лоренца:

$$\vec{f} = \vec{d} + \frac{1}{c} [\vec{v}\vec{h}]. \quad (6)$$

Во всех этих уравнениях Лоренц пользовался рационализированной гауссовой системой единиц, введенной Хевисайдом, и уравнениями электромагнитного поля в той форме, которую им придумал Герц. В своей статье «Опыт теории электрических и оптических явлений в движущихся телах» он еще применяет громоздкие обозначения и не до конца рационализированную систему единиц. Однако именно в этой статье впервые была написана система основных уравнений электронной теории. Хотя эти уравнения еще не приняли окончательную форму и самый термин «электронная теория» еще не употреблялся Лоренцем, именно работа 1895 г. является первым систематическим изложением электронной теории.

Использованные Лоренцем рационализированные системы были введены английским физиком Оливером Хевисайдом (1850–1925). Хевисайд с 1885 г. публиковал в английском журнале «Электричество» («The Electrician») цикл статей по электромагнитной теории Их продолжение, печатавшееся частями, составило трехтомный труд «Электромагнитная теория». В нем Хевисайд широко использует векторный анализ, операционные методы и рациональные единицы. Во второй том он включил специальное приложение о рациональных единицах, где поместил свою переписку с Лоджем по этому вопросу и краткий отчет о дискуссии в «Электричестве» осенью 1895 г.

Пропаганда Хевисайда в пользу рациональной системы встретила сильных противников, как показала дискуссия, о которой Хевисайд пишет во втором томе. Тем не менее Хевисайд считает, что то, что сделано, «представит вопрос рационализации в ином свете для некоторых народов». Голландец в лице Лоренца поддержал идею рационализации единиц, и Лоренц во всех своих трудах пользовался единицами Хевисайда. В принятой сегодня системе единиц СИ рациональная система соединена с практической.

Возвратимся к Лоренцу и его «Опыту». Лоренц рассматривает уравнения электромагнитного поля в движущихся телах, переходя от неподвижных координат к подвижным. При этом Лоренц наряду с обычным временем t рассматривает чисто формальное «местное время»

$$t' = t - \frac{(\vec{V}\vec{r})}{c^2}.$$

Уравнения поля при таком преобразовании оказываются, если пренебречь членами второго порядка относительно v/c , такими же, как и в неподвижной системе. Лоренц формулирует свой вывод следующим образом: «Пусть для покоящейся системы тел известно состояние движения, для которого $D_x, D_y, D_z, E_x, E_y, E_z, H_x, H_y, H_z$ суть данные функции x, y, z и t , тогда в той же системе, если она движется со скоростью v , существует состояние движения, в котором $D_x', D_y', D_z', E_x, E_y, E_z, H_x', H_y', H_z'$ точно такие же функции x, y, z и t

$$t - \frac{1}{v^2} (p_x x + p_y y + p_z z).$$

Применяя этот вывод к оптическим явлениям на движущейся Земле, Лоренц формулирует положение, которое позже стали называть принципом относительности первого порядка. «По нашей теории движение Земли не оказывает никакого влияния первого порядка на опыты с земными источниками света».

Теория Лоренца объясняет кажущееся увлечение эфира движущейся жидкостью в опыте физо. Что же касается опыта Майкельсона, которому Лоренц посвящает три параграфа своей книги, то он находит свое объяснение в гипотезе Лоренца – фицджеральда о сокращении размеров в направлении движения в отношении

$$1/\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}.$$

Параграфы книги Лоренца (91 и 92), посвященные гипотезе, целиком приводит Лармор в своей книге «Эфир и материя»

Джозеф Лармор, воспитанник Кембриджа, известен открытием так называемой «прецессии Лармора». Электрон, вращающийся по орбите, совершает в магнитном поле дополнительное, прецессиальное вращение вокруг силовых линий магнитного поля с угловой скоростью

$\omega = (e/2m) H$, где заряд e и напряженность магнитного поля H измерены в абсолютных электромагнитных единицах. С помощью этой прецессии Лармор объяснил нормальный эффект Зеемана.

В вышедшей в 1900 г. книге «Эфир и материя» Лармор, так же как и Лоренц, рассматривает взаимоотношение материи и эфира. Так же как и у Лоренца, частицы материи у него «электрифицированы» и связь материальных частиц через эфир осуществляется электромагнитными силами. Но Лармор считает частицы материи особенностями в эфире, имеющими специфическую структуру. Ядро этого особого образования может двигаться в эфире, оставляя самый эфир неподвижным. Вместе с этим ядром движется и создаваемое им напряжение, характеризуемое вектором с компонентами f, g, h . Этот вектор не что иное, как вектор напряженности электрического поля. Другая особенность в эфире имеет вращательный характер и порождает вихревое поле, характеризуемое вектором с компонентами a, b, c , который представляет собой не что иное, как вектор магнитной индукции. Связь между обоими полями выражается уравнениями Максвелла. Лармор показывает, что форма этих уравнений остается неизменной и для движущейся системы, если связь между координатами движущейся и неподвижной систем определяется уравнениями:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

$$\beta = \frac{v}{c}.$$

Так в истории физики появляются преобразования, названные преобразованиями Лоренца. Лоренц их написал в 1904 г. и притом еще не совсем правильно. Лармор написал их именно в том виде, в котором они сегодня употребляются в специальной теории относительности. Более того, Лармор показывает, что скорость распространения световой волны в движущейся среде выражается не формулой $V \cos \theta$, где n – показатель преломления, а более сложной, в которую входит скорость движения среды:

$$V' = \frac{V \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}{\left(1 + V \frac{v}{c^2}\right)}$$

Если скорость сложить со скоростью потока, то абсолютная скорость световой волны будет:

$$w = v + \frac{V \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}{1 + \frac{vV}{c^2}} = \frac{v + V}{1 + \frac{vV}{c^2}}$$

Это релятивистская формула сложения скоростей. Как видим, она содержалась в книге Лармора более чем за пять лет до теории относительности Эйнштейна. Лармор, опираясь на свою формулу, дал истолкование опыту физо и коэффициенту увлечения Френеля. По формуле Лармора можно записать:

$$\begin{aligned} V' &= V \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \left(1 + \frac{Vv}{c^2}\right)^{-1} = \\ &= V - \frac{v}{n^2} - \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n^3}\right) \frac{v^2}{c} \end{aligned}$$

Первые два члена дают для скорости света в движущейся среде величину:

$$V' + v = V + v \left(1 - \frac{1}{n^2}\right),$$

что объясняет опыт физо и дает коэффициент увлечения Френеля. «Оставшийся член, — пишет Лармор, — дает поправку второго порядка согласно нашей гипотезе, которая включает отрицательный результат опыта Майкельсона».

Таким образом, Лармор полностью решил проблему электродинамики движущихся сред и объяснил все оптические эффекты: аберрацию, опыт физо, опыт Майкельсона. Он, так же как и Лоренц, приходит к выводу, что движение материальной системы через эфир изменяет незначительно ее размеры. Здесь он солидарен с Фицджеральдом и Лоренцем.

Лоренц стал развивать идеи, изложенные им в «Опыте теории электрических и оптических явлений в движущихся телах», совершенствуя и углубляя свою теорию. В 1899 г. он выступил со статьей «Упрощенная теория электрических и оптических явлений в движущихся телах», в которой упростил теорию, данную им в «Опыте», введя следующие преобразования:

$$x' = \frac{x}{\sqrt{1 - \beta^2}}, y' = y, z' = z, t' = t - \frac{v^2}{c^2 - v^2} x.$$

Эти результаты его не удовлетворили, и в 1904 г. он выступил с основополагающей статьей «Электромагнитные явления в системе, движущейся со скоростью, меньшей скорости света». Здесь Лоренц выписывает уравнения электронной теории в той современной форме, которая была дана им в 1903 г. в статье в «Математической энциклопедии» и которой еще не было в его работах 1895, 1899 гг. Он взял и новые преобразования координат и времени, записав их в виде:

$$x' = klx, y' = ly, z' = lz,$$

$$t' = \frac{l}{k} t - kl \frac{w}{c^2} x,$$

$$\text{где } k = \frac{c^2}{c^2 - w^2},$$

$$\text{т. е. } k = \frac{1}{1 - \beta^2}, \quad \text{где } \beta = \frac{w}{c}.$$

c - w

Эти преобразования Лоренца значительно хуже преобразований Лармора (*Почему-то Лоренц ни в преобразованиях 1899 г., ни в статье 1904 г. не вводит в формулу для x` время!*), и полной инвариантности уравнений электронной теории Лоренцу достигнуть не удалось, уравнение $\text{div } d = \rho$ переходило в уравнение

$$\text{div } \vec{d}' = \left(1 - \frac{wu'_x}{c^2}\right) \rho'$$

Лоренц в 1912 г., переиздавая эту работу, в примечаниях признал, что ему не удалось полностью совместить свою теорию с принципом относительности. «С этим обстоятельством,— писал Лоренц, — связана беспомощность некоторых дальнейших рассуждений в этой работе».

В своей работе Лоренц делает ряд допущений. Важнейшими из них, кроме гипотезы неподвижного эфира, являются следующие: гипотеза об уравнениях преобразования координат и времени, гипотеза о деформации электрона. Лоренц считал, что неподвижный электрон имеет форму равномерно заряженной сферы, при движении же электрона «размеры в направлении движения уменьшаются в kl раз, а размеры в перпендикулярном движению направлении — в l раз». Далее Лоренц считает, что силы, действующие между независимыми частицами, «подвергаются изменению точно таким же образом, как электрические силы электростатической системы». Отсюда получается сокращение Лоренца— Фицджеральда и объяснение опыта Майкельсона.

Движущийся электрон будет обладать инерцией. «В процессах, при которых возникает ускорение в направлении движения, электрон ведет себя так, как будто он имеет массу $m_{1,2}$ а при ускорении в направлении, перпендикулярном к движению, так, как будто он обладает массой t_2 . Величинам m_1 , и m_2 поэтому удобно дать название «продольной» и «поперечной» электромагнитной масс. Я полагаю, что, кроме этой, нет никакой «действительной» или «материальной» массы».

Итак, масса, ньютоновское количество материи, стала электромагнитной, зависящей от скорости. У Лоренца продольная и поперечная массы соответственно равны:

$$m_1 = \frac{e^2}{6\pi c^2 R} \frac{d(klw)}{dw}, \quad m_2 = \frac{e^2}{6\pi c^2 R} kl.$$

Заметим, что в работах Лоренца, в том числе в работе 1904 г., никакого принципа относительности не встречается. Позже, уже после создания теории относительности, он в своих лекциях о принципе относительности, прочитанных в 1910 и 1912 гг., писал после описания результата Майкельсона: «Все нулевые эффекты таких экспериментов могут быть объяснены из основных уравнений теории электронов, но для некоторых из них нужно прибегнуть к помощи дополнительных гипотез». Это Лоренц и сделал в своей работе 1904 г. и более ранних работах 1887 и 1895 гг.

Знаменитый французский математик и астроном Анри Пуанкаре (1854– 1912) в 1900 г. на Парижском конгрессе физиков порицал Лоренца за пренебрежение принципом относительности. Сам он в опубликованной в 1905 г. статье «К динамике электрона» указывает, что нулевой результат опыта по обнаружению движения Земли «представляет, по-видимому, общий закон природы».

Пуанкаре пишет преобразования Лоренца в виде:

$$x' = kl(x + \varepsilon t), \quad y' = ly, \quad z' = lz,$$

$$t' = kl(t + \varepsilon x), \quad \text{где } k = \frac{1}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}},$$

где s – скорость движения системы, измеренная в единицах скорости света.

Пуанкаре доказывает, что преобразования Лоренца образуют группу, при этом I оказывается равным 1. Пуанкаре принадлежит и само название «преобразования Лоренца». Изучая следствия из этих преобразований, Пуанкаре находит формулу сложения скоростей, формулу преобразований напряженностей электрического и магнитного полей, плотности заряда, плотности тока и по существу уже получает четырехмерную релятивистскую электродинамику.

Важно, однако, подчеркнуть, что Лоренц, Лармор, Пуанкаре развили свои теории на базе классической электродинамики, опираясь на концепцию эфира. Их интересовало объяснение на этой основе фундаментальных опытов оптики и электродинамики движущихся сред. Им удалось найти такое объяснение и подходящий математический аппарат. Но будет ли пригодно это объяснение для неэлектромагнитных сил, этого они не знали. До понимания принципа относительности как всеобщего закона природы они еще не дошли. (*Ближе всех к этому подошел Пуанкаре. В статьях «Наука и гипотеза» (1903), «Ценность науки» (1904) он подробно рассматривает принцип относительности среди других фундаментальных законов. Но, как он сам говорил в Геттингенской лекции о новой механике, эти соображения высказывались им в чисто философском плане. Еще в 1904 г. Пуанкаре допускал возможность существования скоростей, больших скорости света.*)

Вопрос о постоянстве и особенно предельном значении скорости света, имеющий фундаментальное значение для разработки новых представлений о пространстве и времени, ими не поднимался. Глубокое понимание принципа относительности и выработка в связи с этим новых представлений о пространстве и времени принадлежат Эйнштейну, который и является подлинным создателем теории относительности.

Глава вторая. Теория относительности Эйнштейна

Критика механики Ньютона и геометрии Евклида

Электродинамика движущихся сред в теории электронов вела ко многим радикальным выводам, прежде всего к крушению представления о неизменных твердых частичках. Твердых тел и неизменных частиц в природе нет, форма и размеры тел и частиц зависят от скорости движения. От скорости тел зависит и масса частиц, которая обусловлена инерциальным свойством окружающего частицу электромагнитного поля. Именно этот новый взгляд на природу массы и заставил говорить об «исчезновении» материи.

Все это были, конечно, весьма радикальные изменения в физических воззрениях, ведущие к дальнейшему отходу от привычных представлений, от «явного для нас» ко все более «неявному для нас», новому, непривычному. Но вместе с тем электродинамика и электронная теория оставляли неизменным основное представление классической физики о пространстве и времени. Геометрия оставалась евклидовой, время, как у Ньютона, текло повсюду равномерно, само по себе.

И хотя у Лармона, Лоренца, Пуанкаре время преобразовывалось при переходе от одной системы к другой, это преобразование носило чисто формальный характер и ни в малейшей степени не затрагивало основных представлений о пространстве и времени, которые оставались незыблемыми со времен Ньютона.



Н. И. Лобачевский

Как мы только что сказали, ньютоновские представления о пространстве и времени оставались в физике незыблемыми. Но это вовсе не значит, что наука не подвергала критике эти представления. Наоборот, в развитии математических и физических наук были моменты, когда наука сомневалась в истинности «вечных» положений и противопоставляла им новые, коренным образом отличающиеся от них положения. Так было в истории геометрии.

Система аксиом и теорем казалась логически такой совершенной и интуитивно такой очевидной, что сомневаться в ее истинности не приходило в голову. Ньютон положил ее в основу своей механики. Его фундаментальное понятие абсолютного, однородного, пустого пространства, являющегося вместилищем всех тел, было евклидовым пространством.

Знаменитый немецкий философ Иммануил Кант считал аксиомы геометрии Евклида врожденными.

Но в системе Евклида был слабый пункт, так называемый пятый постулат, или аксиома о параллельных. Этот постулат уму математиков представлялся не столь уже очевидным, чтобы его можно было считать «врожденной» истиной. Математики древности и

нового времени приложили немало усилий, чтобы «доказать» пятый постулат, но тщательный анализ «доказательства» показал, что вместо евклидова постулата пришлось принять новое, эквивалентное старому, допущение.

И вот казанский математик, гениальный русский ученый Николай Иванович Лобачевский (1792–1856) в 1826 г. пришел к смелому выводу, что взамен пятого постулата можно выдвинуть другой, противоположный ему, и тем не менее создать логически непротиворечивую геометрию, отличающуюся от евклидовой. Это была новая, неевклидова геометрия, столь же истинная, как и евклидова, хотя описывающая совершенно новое, неевклидово пространство.

Вопрос о том, какая же геометрия более соответствует действительности, как полагал Лобачевский, может быть решен только опытом. Это означало, что геометрические истины не являются врожденными, а приобретаются опытом, имеют только опытное происхождение. Это был очень важный шаг в развитии представлений о пространстве, в развитии самого научного мышления. Английский математик В.Клиффорд назвал Лобачевского «Коперником геометрии», а его научную деятельность оценил как подвиг.

Когда наступает время, научная идея рождается в нескольких головах. Современники Лобачевского – венгерский математик Янош Больяй (1802– 1860) и старший их современник, знаменитый математик К.ф. Гаусс – пришли к аналогичным идеям. Гаусс, правда, ничего не публиковал по этому вопросу при жизни, опасаясь, как он выражался, «крика беотийцев», т. е. невежественных, но горластых людей, однако он высоко ценил работы Лобачевского и Больяй и писал, что сам пришел к таким же идеям.

Большую роль в развитии новых взглядов на пространство сыграл немецкий математик Бернгард Риман (1826–1866), который произнес в 1854 г., т. е. еще при жизни Лобачевского, Гаусса и Больяй, речь «О гипотезах, лежащих в основании геометрии». Риман здесь со всей четкостью подчеркивает, что «предположения геометрии не выводятся из общих свойств протяженных величин и что, напротив, те свойства, которые выделяют пространство из других, мыслимых трижды протяженных величин, могут быть почерпнуты не иначе, как из опыта».

Риман рассматривает пространство n измерений и определяет длину элемента линии в этом пространстве выражением:

$$ds^2 = g_{11}dx_1^2 + g_{22}dx_2^2 + \dots + 2g_{12}dx_1dx_2 + \\ + 2g_{13}dx_1dx_3 + \dots = \sum_{i,k} g_{ik} dx_i dx_k.$$

В случае, если все $g_{ik} = 0$ для $i \neq k$,

В случае, если все $g_{ik} = 0$ для $i \neq k$, пространство будет плоским, или n -мерным евклидовым пространством. В других случаях пространство будет искривленным и кривизна его определяется коэффициентами g_{ik} . Если кривизна положительна, то пространство называют римановым сферическим пространством, если отрицательна, то пространство будет псевдосферическим пространством Лобачевского.

Итак, к середине XIX столетия математическая мысль пришла от обычного трехмерного евклидова плоского пространства к многомерному искривленному пространству. Наступила очередь критики ньютоновской концепции пространства и времени физиками. Наиболее резкой критике основные понятия механики Ньютона подверглись со стороны австрийского физика и философа Эрнста Маха (1838– 1916).



Мах был профессором в Праге, когда в 1883 г. появилась его «Механика», носящая подзаголовок «Истико-критический очерк ее развития». Критикуя концепцию абсолютного времени Ньютона, Мах замечает, что ньютоновское абсолютное время «не может быть измерено никаким движением и поэтому не имеет никакого ни практического, ни научного значения». «...Время, – говорит Мах, – есть абстракция, к которой мы приходим через посредство изменения вещей: .. наши представления о времени получаются вследствие взаимной зависимости вещей».

Время у Ньютона отделено от мира, оно существует независимо от вещей, у Маха оно неразрывно связано с вещами. «В наших представлениях времени находит свое выражение самая глубокая и самая общая связь вещей», – пишет Мах. Но эта совершенно правильная мысль у Маха искажается его субъективной идеалистической философией. Оказывается, что к представлению времени мы приходим, как пишет Мах, «через посредство связи содержания поля наших воспоминаний с содержанием поля наших восприятий».

И здесь Мах идет назад от Ньютона, у которого время (и пространство) объективно, существует независимо от нас, от наших восприятий и воспоминаний. У Маха идеалистическая философия вступает в противоречие с его материалистическими естественнонаучными представлениями. «Мах и Авенариус совмещают в своей философии основные идеалистические посылки и отдельные материалистические выводы», (*Ленин В И Материализм и эмпириокритицизм. – Поли. собр. соч., т. 18, с. 59.*) – пишет Ленин, показывая эклектичность философии Маха. И далее: «... Мах забывает свою собственную теорию и, начиная говорить о различных вопросах физики, рассуждает попросту, без идеалистических выкрутас, т. е. материалистически». (*Ленин В И Материализм и эмпириокритицизм. – Поли. собр. соч., т. 18, с. 59.*) физик Мах идет дальше Ньютона, рассматривая пространство и время в тесной связи с реальными вещами и процессами, и он идет назад от Ньютона, когда сводит дело к субъективным переживаниям и ощущениям.

Приводя высказывания Ньютона об абсолютном и относительном пространстве, абсолютном и относительном движении, Мах пишет: «Об абсолютном пространстве и абсолютном движении никто ничего сказать не может; это чисто абстрактные вещи, которые на опыте обнаружены быть не могут. Все наши основные принципы механики представляют собой... данные опыта об относительных положениях и движениях тел». Понимая, что механика имеет дело с относительными движениями, Мах в своей книге не уделяет никакого внимания принципу относительности и проходит мимо принципа относительности Галилея.

Он говорит, что относительные «движения в мировой системе, и с точки зрения учения Птолемея, и с точки зрения учения Коперника, одни и те же. Оба ученья также одинаково

правильны, но последнее только проще и практичнее». Когда позже эту мысль высказывали некоторые ревностные релятивисты, то они забывали упомянуть, что она была высказана задолго до возникновения теории относительности человеком, весьма скептически отзывавшимся об этой теории, – Эрнстом Махом.

Мах, выбрасывая абсолютное пространство и абсолютное движение, по-новому смотрит на закон инерции. «Отношение земных тел к земле может быть сведено к их отношению к отдаленным небесным телам. Если бы мы стали утверждать, что мы о движущихся телах знаем больше, чем это данное в опыте отношение их к небесным телам, мы поступили бы нечестно. Поэтому если мы говорим, что тело сохраняет свое направление и скорость в пространстве, то в этом заключается только краткое указание на то, что принимается во внимание весь мир».

Эйнштейн позже писал, что «Мах ясно понимал слабые стороны классической механики и был недалек от того, чтобы прийти к общей теории относительности». Но Мах не пришел ни к общей, ни к специальной теории относительности. Он не сумел связать механику с идеями поля, с фактом конечной скорости распространения взаимодействия.

Принцип Маха, согласно которому движение тела, в том числе и инерциальное движение, определяется взаимодействием на него всех масс Вселенной, предполагает мгновенное воздействие, т. е. силы дальнего действия. Таким образом, критика Махом ньютоновской механики сыграла роль в формировании взглядов Эйнштейна, как об этом писал сам Эйнштейн в письме к Маху. Позитивного перехода к новой механике Мах не нашел.

Ньютоновскую механику попытался подвергнуть ревизии и Герц. В его последнем сочинении «Принципы механики, изложенные в новой связи», вышедшем уже после смерти автора, в 1894 г., он попытался изложить механику, исключая понятие силы. Система механики Герца «исходит» из трех независимых представлений – из представлений времени, пространства и массы. Наряду с обычными, чувственно воспринимаемыми массами Герц вводит скрытые, неощутимые массы. Основным принцип механики Герц формулирует в следующем виде: «Каждое естественное движение самостоятельной материальной системы состоит в том, что система движется с постоянной скоростью по одному из своих прямолинейных путей. Под влиянием связей движение отступает от этого естественного движения, но все действительные движения, по крайней мере, приближаются к этому движению настолько, насколько это возможно».

В предисловии к книге Герц писал, что он «очень обязан прекрасной книге о развитии механики Маха». В свою очередь, Мах в предисловии к третьему изданию своей «Механики» в январе 1897 г. писал: «Механика в настоящее время обнаруживает как будто тенденцию вступить в новые отношения к физике, что в особенности обнаруживается в работе Г. Герца». Но ни Маху, ни Герцу не удалось преобразовать механику и поставить ее «в новые отношения к физике». Это удалось сделать лишь Эйнштейну.

Эйнштейн. Альберт Эйнштейн родился 14 марта 1879 г. в Ульме (Германия) в семье мелкого коммерсанта Германа Эйнштейна. Отец в поисках более обеспеченного и устойчивого существования часто переезжал с семьей из города в город, из страны в страну.

Альберт не получил законченного среднего образования и в 16 лет попытался поступить в Высшую техническую школу в Цюрихе (Швейцария). Провалившись на вступительных экзаменах, он поступил в кантональную среднюю школу в швейцарском кантоне Аарау. Окончив эту школу в 1896 г., он поступил в ту же Цюрихскую Высшую политехническую школу на педагогический факультет. Учился Эйнштейн неровно. Он не любил обязательных занятий и экзаменов и предпочитал заниматься тем, что его интересовало. Он получил диплом об окончании школы 2 августа 1900 г. По окончании школы для Эйнштейна наступили трудные дни. Семья, жившая в Италии, не могла больше высылать ему средств, ее положение было не блестящее, к тому же в 1902 г. умер отец. Эйнштейну пришлось думать о заработке. Он пробовал заняться педагогической деятельностью. С мая 1901 г. он несколько месяцев преподавал математику в техникуме города В интертура. В этом же году он

опубликовал свою первую работу «Следствия из явлений капиллярности». Потом он проработал несколько месяцев в качестве репетитора и лишь в 1902 г. получил постоянную должность технического инспектора в Швейцарском патентном бюро в Берне. Эту должность он занимал с 23 июня 1902 г. по 15 октября 1909 г. Именно здесь, в Берне, будучи скромным служащим бюро патентов, Эйнштейн стал знаменитым ученым.

Первые работы Эйнштейна были , посвящены молекулярной физике и термодинамике. В ходе этих исследований Эйнштейн создал теорию броуновского движения, о существовании которого в то время не знал. Статья по этому вопросу—«Новое определение размеров молекул» – появилась в 1905 г. В этом же году в 17-м томе «Annalen der Physik» появилась статья – «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света», посвященная квантовым свойствам света; в том же томе была опубликована еще одна статья – «К электродинамике движущихся сред», –содержащая основы специальной теории относительности. Каждой из этих трех статей было достаточно, чтобы обессмертить имя их автора.

В январе 1906 г. Эйнштейн защищает докторскую диссертацию «Новое определение размеров молекул» – первая статья из цикла работ Эйнштейна по броуновскому движению, напечатанных им в 1905-1908 гг. В 1907 г. Эйнштейн создает квантовую теорию теплоемкости.

В 1908 г. Эйнштейн был утвержден приват-доцентом Бернского университета. В 1909 г. он был избран экстраординарным профессором Цюрихского университета и расстался с бюро патентов.

В апреле 1911 г. Эйнштейн переехал в Прагу профессором теоретической физики. Через год он снова вернулся в Цюрих, на этот раз профессором Высшей технической школы, в которой когда-то учился. Здесь он пробыл до апреля 1914 г., когда после избрания членом Прусской Академии наук в Берлине переехал в Берлин. Здесь он создал общую теорию относительности, произвел совместно с де Гаазом знаменитый опыт по доказательству существования молекулярных токов Ампера (эффekt Эйнштейна–де Гааза). В 1922 г. Эйнштейну была присуждена Нобелевская премия.

В 20-е годы началась травля Эйнштейна нацистами. После прихода нацистов к власти Эйнштейн вышел из состава Прусской Академии наук и уехал из Германии. Он принял предложение Принстонского института высших исследований США и с апреля 1933 г. стал членом этого института.

Эйнштейну пришлось дожить до трагической реализации выведенного им соотношения между массой и энергией. Именно Эйнштейн в 1939 г. подписал письмо президенту Рузвельту о необходимости форсировать работы по атомной энергии.

Эйнштейн тяжело переживал трагедию Хиросимы и Нагасаки. До самой смерти, последовавшей 18 апреля 1955 г., он призывал к миру, к борьбе за предотвращение атомной войны.

Основополагающая работа Эйнштейна по теории относительности называется «К электродинамике движущихся сред». Название статьи показывает, что она была задумана в русле электродинамики движущихся сред, и вторая часть статьи содержит преобразование уравнений электродинамики Максвелла – Герца для вакуума. Однако основное содержание работы Эйнштейна далеко выходит за рамки электродинамики и содержит новый подход к проблеме пространства и времени. Этим подходом и широкой общей точкой зрения на все, а не только электромагнитные, физические явления статья Эйнштейна существенно отличается от работ Лармора, Лоренца, Пуанкаре и других исследователей по электродинамике движущихся сред.

Ближе всего к Эйнштейну подошел Пуанкаре. Однако Пуанкаре был непоследовательным в своих выводах. Сформулировав еще в 1902 г. принцип относительности как универсальный закон природы, Пуанкаре полагал вполне возможным отказ от него при наличии новых экспериментальных фактов, опровергающих «постулат относительности». Этим он по существу становился на точку зрения противников теории

относительности, жаждавших ее экспериментального опровержения.

А. Эйнштейн



Лишь Эйнштейн понял, что принцип относительности – закон такой же абсолютной силы, как закон сохранения энергии. С таких позиций поиски опытов, оправдывающих теорию относительности, равносильны попыткам построить вечный двигатель. Опыт Майкельсона и его аналоги не могут удасться, так как противоречат теории относительности.

Основы этой теории и закладывает Эйнштейн в своей статье. В самом начале статьи Эйнштейн говорит о явлении электромагнитной индукции, которая «зависит ... только от относительного движения проводника и магнита». «Примеры подобного рода, – продолжает Эйнштейн, – как и неудавшиеся попытки обнаружить движение Земли относительно «светоносной среды», ведут к предположению, что не только в механике, но и в электродинамике никакие свойства явлений не соответствуют понятию абсолютного покоя и даже, более того, к предположению, что для всех координатных систем, для которых справедливы уравнения механики, справедливы те же самые электродинамические и оптические законы, как это уже доказано для величин первого порядка. Это предположение (содержание которого в дальнейшем будет называться «принципом относительности») мы намерены превратить в предпосылку и сделать, кроме того, добавочное допущение, находящееся с первым лишь в кажущемся противоречии, а именно, что свет в пустоте всегда распространяется с определенной скоростью V , не зависящей от состояния движения излучающего тела. Эти две предпосылки достаточны для того, чтобы, положив в основу теорию Максвелла для покоящихся тел, построить простую, свободную от противоречий электродинамику движущихся тел.

Введение «светносного эфира» окажется при этом излишним, поскольку в предлагаемой теории не вводится «абсолютно покоящееся пространство», наделенное особыми свойствами, а также ни одной точке пустого пространства, в котором протекают электромагнитные процессы, не приписывается какой-нибудь вектор скорости».



Рис.52. Титульный лист 17 номера, в которой была помещена статья Эйнштейна Эйнштейн указывает далее, что теория развивается «на кинематике твердого тела, так как суждения всякой теории касаются соотношений между твердыми телами (координатными системами), часами и электромагнитными процессами. Недостаточное понимание этого обстоятельства является корнем тех трудностей, преодолевать которые приходится теперь электродинамике движущихся тел».

Мы привели почти целиком введение Эйнштейна к его классической работе «К электродинамике движущихся сред». В нем очень ясно и четко изложены основные идеи этой работы, отличающие ее коренным образом от всех предшествующих работ по электродинамике движущихся сред. Во главу угла ставится принцип относительности и принцип постоянства скорости света. Упраздняется «светоносный эфир», без которого не могли обойтись ни Максвелл, ни Герц, ни Лармор, ни Лоренц, ни Пуанкаре. И наконец, указывается, что всякая физическая теория основана на соотношениях между твердыми телами, часами и электромагнитными процессами (здесь Эйнштейн имеет в виду распространение света).

Однако Эйнштейн ни слова не говорит о своих предшественниках. Что он читал по электродинамике движущихся сред? Какие неудавшиеся попытки обнаружить движение Земли он имеет в виду? Что он имеет в виду, когда говорит о том, что принцип относительности уже доказан «для величин первого порядка»? Ответить на эти вопросы трудно. Во всей статье Эйнштейна нет ни одной ссылки на литературу. Позднее Эйнштейн утверждал, что он не знал об опыте Майкельсона, когда писал свою работу. Но если он читал работу Лоренца 1895 г., где доказан принцип относительности первого порядка, о чем он здесь упоминает, то он не мог не знать об опыте Майкельсона. Эйнштейн указывал, что он думал над проблемой теории относительности десять лет, начав размышлять еще шестнадцатилетним юнцом. Эти долгие размышления и были главным источником работы.

Эйнштейн указывал, что на него наибольшее влияние из опытных фактов оказали во время этих размышлений аберрация и опыты по измерению скорости света в движущейся воде.

Этого было, по его мнению, достаточно.

Следует отметить, что все новые работы Эйнштейна изложены так, что производят впечатление здания, построенного на пустыре: никаких ссылок, никаких указаний на работы предшественников. Публикуя работы по статистической физике, Эйнштейн не знает о существовании статистики Гиббса, публикуя статью по теории броуновского движения,

Эйнштейн не знает, что такое движение действительно существует. Поэтому вполне вероятно, что он не знал об опыте Майкельсона и основополагающей работе Лоренца. Но вместе с тем его введение не оставляет сомнения в том, что ему были известны отрицательные результаты попыток обнаружить движение Земли, существование принципа относительности первого порядка. Наконец, его заявление об эфире показывают, что он выступает против концепции абсолютного неподвижного пространства и, таким образом, присоединяется к точке зрения Маха, критикующего эту концепцию Ньютона.

Все это показывает, что у Эйнштейна были предшественники, о результатах исследований которых он так или иначе был осведомлен. При всей новизне и оригинальности подхода работа Эйнштейна была органически связана с исследованиями по электродинамике движущихся тел, что подчеркнул и сам Эйнштейн не только заглавием, но и целевой установкой своей статьи. Статья Эйнштейна появилась вовремя, она отвечала насущным вопросам физики своего времени.

Статья Эйнштейна состоит из двух частей. Первая, кинематическая часть составляет основы новой теории пространства и времени, вторая часть – электродинамическая – содержит применение теории относительности к электродинамике движущихся тел.

Кинематическая часть начинается с определения одновременности. Эйнштейн описывает метод синхронизации разделенных пространственно часов с помощью световых сигналов, приводящий к определению понятий «одновременность» и «время».

Следует отметить, что метод синхронизации часов с помощью световых сигналов был предложен А. Пуанкаре в 1900 г. Часы, синхронизированные таким образом, показывают, по мнению Пуанкаре, не «действительное», а «местное» время $t' = t - (vx)/(c^2)$

Это различие «местного» и «действительного» времени указывает на непоследовательность Пуанкаре в трактовке времени и отличает эту трактовку от трактовки Эйнштейна. У Эйнштейна нет никакого «действительного» времени, отличного от времени, определенного синхронизированными часами. В этом пункте он категорически порывает с концепцией абсолютного времени Ньютона, текущего «само по себе».

А. Эйнштейн



Дальнейшую свою теорию Эйнштейн развивает на основе двух постулатов:

«1. Законы, по которым изменяются состояния физических систем, не зависят от того, к которой из двух координатных систем, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, эти изменения состояния относятся.

2. Каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определенной скоростью V независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом».

Эти постулаты: принцип относительности и принцип постоянства скорости света—являются основой теории относительности Эйнштейна. Исходя из них, Эйнштейн получает относительность длин и относительность одновременности. Эйнштейн выводит далее из этих постулатов формулы преобразования координат и времени, которые, по предложению Пуанкаре, называются преобразованиями Лоренца, хотя исторически их вернее назвать преобразованиями Лармора – Эйнштейна. Лармор впервые постулировал их в 1900 г. Эйнштейн впервые вывел их в 1905 г. В обозначениях Эйнштейна эти формулы имеют следующий вид:

$$\tau = \beta \left(t - \frac{v}{V^2} x \right), \quad \eta = y, \quad \zeta = z,$$

$$\xi = \beta (x - vt),$$

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{V}\right)^2}},$$

где x, y, z, t — координаты и время точки в покоящейся системе (покоящейся системой Эйнштейн называет систему, в которой справедливы законы Ньютона), ξ, η, ζ, τ —координаты и время в системе, движущейся равномерно и прямолинейно вдоль оси x со скоростью v .

Из этих преобразований получаются сокращение масштабов и замедление хода часов. Сокращения Лоренца- фицджеральда получаются автоматически, как свойство пространства и времени, а не как результат действия каких-то сил, как в теории Лоренца.

Далее Эйнштейн получает закон сложения скоростей:

$$u = \frac{\sqrt{(v^2 + w^2 + 2vw \cos \alpha)^2 - \left(\frac{vw \cdot \sin \alpha}{V}\right)^2}}{1 + \frac{vw \cos \alpha}{V^2}}.$$

Для случая, когда составляющие скоростей v и w параллельны друг другу и параллельны оси x , формула принимает вид:

$$u = \frac{v + w}{1 + \frac{vw}{V^2}}.$$

Отсюда следует, что при сложении результирующая скорость и всегда меньше скорости света V и что скорость света, сложенная с любой скоростью, дает одно и то же значение V .

Во второй части статьи Эйнштейн находит уравнения преобразования для компонент

электрического и магнитного поля, закон аберрации и принцип Доплера. Статья заканчивается очерком динамики слабо ускоренного электрона. Здесь Эйнштейн приводит выражения для продольной и поперечной массы и законы движения электрона в электрическом и магнитном полях.

К статье 1905 г. примыкает небольшая заметка, опубликованная в 18-м томе «Annalen der Physik» за тот же 1905 г. Заметка называется «Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии». Эйнштейн приходит к выводу, что при испускании телом энергии L его масса уменьшается на $L/(c^2)$. Отсюда он делает вывод весьма общего характера: «Масса тела есть мера содержащейся в нем энергии; если энергия изменяется на величину L , то масса меняется соответственно на величину $L/(c^2)$, причем здесь энергия измеряется в эргах, а масса в граммах».

Так впервые появляется у Эйнштейна знаменитое соотношение между массой и энергией, которое сегодня обычно записывается формулой

$$E = mc^2.$$

Этот результат был получен Эйнштейном при рассмотрении излучения. «Если теория соответствует фактам, – говорит Эйнштейн в заключение, – то излучение переносит энергию между излучающими и поглощающими телами».

В 1906 г. Эйнштейн выступил со статьей «Закон сохранения движения центра тяжести и инерция энергии». Здесь он обосновывает соотношение между массой и энергией с помощью мысленного эксперимента. В пустом ящике имеются два одинаковых тела: излучатель и приемник. При излучении телом, находящимся у левой стенки ящика A , света на стенку будет действовать реакция светового давления, в результате которой ящик массой M движется со скоростью – $1/V * S/M$,

где S – излучаемая энергия, V – скорость света. Ящик движется с этой скоростью до тех пор, пока энергия S не поглотится телом B у противоположной стенки. За это время ящик передвинется влево на расстояние $s = (1/V) * (S/M) * (a/V)$ где a – расстояние AB

Так как тела A и B одинаковы, то с помощью невесомого передаточного механизма они могут быть переставлены, и тело B затем отдаст полученную им энергию. Таким путем без затраты энергии ящик M может быть передвинут как угодно далеко неоднократным повторением процесса. «Ясно, – пишет Эйнштейн, – что полученный результат не содержит внутреннего противоречия, но он противоречит основным законам механики, согласно которым первоначально покоящееся тело, на которое не действуют другие тела, не может перемещаться»

Это противоречие устраняется, если предположить, что излучение обладает массой t . Когда излучение проходит расстояние a , то вместе с ним проходит это расстояние и масса t .

Ящик массой M за это же время смещается в противоположную сторону на расстояние s , и центр инерции системы остается в покое; если

$$8M = at \text{ или } M (1/V) * (S/M) * (a/V) = at, \text{ то}$$

$$t = S/(V * V) - \text{соотношение между массой и энергией.}$$

Эйнштейн прибегал к мысленному эксперименту для вывода соотношения между массой и энергией, используя выражение светового давления, теоретически обоснованное Максвеллом и экспериментально доказанное П. Н. Лебедевым.

Релятивистскую динамику начал разрабатывать М. Планк в 1906 г. К этому времени большой интерес вызвали работы В. Кауфмана (1871– 1947), проводившего опыты по изучению зависимости массы от скорости быстро движущихся электронов. Опыты Кауфмана, начатые в 1901 г., установили несомненную зависимость массы электрона от скорости, но характер этой зависимости установить было трудно. Сам Кауфман считал, что его опыты показали, что масса зависит от скорости не как у Лоренца – Эйнштейна

$$(m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}),$$

, а как у Абрагама.

Макс Абрагам (1875-1922) в 1902-1903 гг. вывел, исходя из представлений об электроде как твердом заряженном шарике, довольно сложную формулу зависимости массы электроде от скорости.

Результаты Кауфмана были подвергнуты критике Планком и другими физиками, указывавшими, что опыты Кауфмана недостаточно точны. В дальнейших работах других физиков формула Лоренца–Эйнштейна нашла подтверждение.

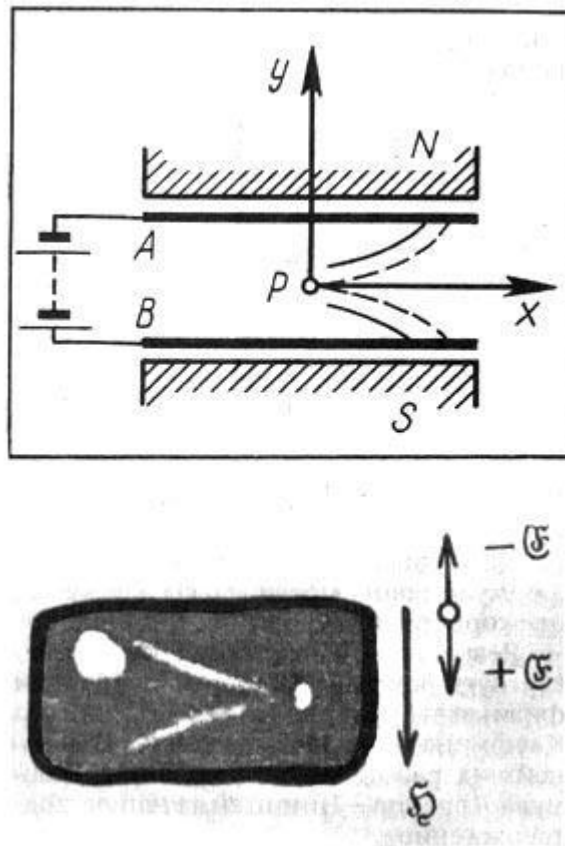


Рис. 53. Опыт Кауфмана

Большое участие в пропаганде и развитии идей теории относительности и теории электроде принял выдающийся французский физик Поль Ланжевен.



Поль Ланжевен родился 23 января 1872 г. в семье парижского ремесленника. С детства он впитал революционные традиции парижских коммунаров и закончил свой жизненный путь членом французской коммунистической партии.

Ланжевен окончил школу физики и химии Парижского муниципалитета, в которой физику преподавал Пьер Кюри.

По окончании школы в 1891 г. Ланжевен начал готовиться к поступлению в высшее учебное заведение и в 1893 г. сдал экзамен в Высшую нормальную школу. Закончив эту школу в 1897 г., Ланжевен на стипендию города Парижа уехал в Англию, в Кембридж, в знаменитую Кавендиш-скую лабораторию, которой в то время руководил Д. Д. Томсон.

В Кавендишской лаборатории в то время велись интенсивные исследования по электропроводности газов. Это определило характер первых исследований Ланжевена. Его докторская диссертация «Исследования в области ионизированных газов» была защищена им в 1902 г. После защиты Ланжевен стал читать самостоятельный курс в Коллеж де Франс, одном из старейших высших учебных заведений Франции, основанном еще в 1530 г. Позднее

Ланжевен написал исторический очерк «физика в Коллеж де Франс».

Работая над ионизацией газов, Ланжевен глубоко интересуется электронной теорией.

Уже в своей диссертации он говорит об этой теории, которая, по его мнению, является началом новой эры в науке. Он считает, что работы Лоренца и Лармора являются попыткой создать из эфира, «этого субстрата Вселенной, сложную среду, представляющую собой материю».

Ланжевен говорит об открытиях электрона Д. Томсоном и объяснении эффекта Зеемана Лоренцем на основе теории электронов. Он считает, что понятие «электроны», или корпускулы, по терминологии Томсона, «имеет, по-видимому, первостепенное значение».

22 сентября 1904 г. Ланжевен сделал на конгрессе в Сан-Луи обширный доклад «физика электронов». В этой статье Ланжевен выступает безусловным сторонником Лоренца и подробно развивает физику электронов и эфира и указывает на трудности, возникающие перед электронной теорией.

Несмотря на наличие фундаментальных трудностей, электронная теория оказалась способной объяснить многое: поляризацию, процессы ионизации, термоэлектронную эмиссию, электропроводность металлов. Сюда же Ланжевен относит и магнетизм. В 1905 г.

он опубликовал статью «Магнетизм и теория электронов», в которой объясняет с электронной точки зрения диамагнетизм и парамагнетизм. Эта теория Ланжевена вошла в учебники и представляет собой первый шаг в теоретическом истолковании магнитных явлений, которые до того рассматривались только феноменологически.

В том же, 1905 г. Ланжевен опубликовал заметку «О невозможности обнаружить поступательное движение Земли с помощью физических опытов». Эта заметка примыкает к идеям доклада 1904 г. Ланжевен, ссылаясь на статью Лоренца 1904 г. и книгу Лармора «Эфир и материя», указывает, что «электронная теория полностью предвидит, и притом во всех порядках приближения, невозможность обнаружить при помощи статических измерений или наблюдений положения равновесия, либо интерференционных полос в оптике, движение всей системы электронов, если сам наблюдатель увлекаем вместе с нею».

Такой системой являются твердые тела, которые под действием внутренних электромагнитных сил испытывают «в направлении движения сокращение, в результате которого все линейные размеры, параллельные направлению движения, умножаются на

$$H = -\mu c^2 \sqrt{1 - \left(\frac{q}{c}\right)^2} + \text{const}$$

, где μ представляет отношение скорости движения системы к скорости света; при этом размеры, перпендикулярные направлению движения, остаются неизменными».

В по еле дующих работах: «Эволюция понятий пространства и времени» (1911), «Время, пространство и причинность в современной физике» (1911) – Ланжевен уже целиком переходит на точку зрения Эйнштейна и говорит уже не об электромагнитном, а об общем принципе относительности, применимом ко всем физическим явлениям, а не только к электромагнитным.

«Если различные группы наблюдателей, – пишет Ланжевен в первой статье, – равномерно поступательно перемещаются относительно друг друга..., то все механические и физические явления будут подчиняться одним и тем же законам для всех групп наблюдателей. Опыты, проведенные внутри материальной системы, с которой связан наблюдатель, не позволят ему выявить равномерное поступательное движение всей системы в целом».

В годы первой мировой войны Ланжевен интенсивно работает над проблемой борьбы с подводными лодками. Он разработал систему локации с помощью ультразвуковых волн, излучаемых кварцевым генератором. Помимо эффективного практического значения, метод Ланжевена оказал глубокое влияние на развитие ультразвуки.

Ланжевен был первым физиком, указавшим на значение закона связи массы и энергии для объяснения отклонения масс атомов от целочисленных значений. Эти отклонения, указывает Ланжевен, «могли бы произойти вследствие того, что образование атомов из первоначальных элементов (путем распада, как мы это видим в радиоактивности, или при помощи обратного процесса, еще не наблюдаемого до сих пор, который мог бы произвести тяжелые атомы) сопровождалось бы изменениями внутренней энергии путем испускания или поглощения излучения».

Это было сказано в 1913 г. в докладе «Инертность энергии и вытекающие из нее следствия», физика еще не усвоила понятие ядра, введенное Резерфордом в 1911 г., не имела никакого представления о структурных элементах ядра, еще не оформила понятия изотопа, а Ланжевен уже говорит о дефекте масс при ядерных превращениях.

Ланжевен дожил до открытия атомной энергии. Он пережил войну с фашизмом, был арестован при захвате Парижа немцами и выслан в Труа под надзор полиции. Его зять, физик Жан Соломон, был казнен нацистами, а дочь, вдова Соломона, выслана в концлагерь в Германию. С помощью друзей Ланжевену удалось бежать в Швейцарию. Проведя там несколько месяцев, он вернулся 25 сентября 1944 г. в освобожденный Париж и встал в первые ряды борцов за мир и прогресс, вступив в члены Коммунистической партии. Он неустанно призывал к борьбе за социальный прогресс, за создание «лучшего и более справедливого мира». Ланжевен умер 19

Дальнейшее развитие теории относительности

Возвращаясь к теории относительности, следует сказать, что создатель этой теории продолжал совершенствоваться и развивать ее. В 1907 г. Эйнштейн опубликовал большую статью «О принципе относительности и его следствиях». Здесь основная идея теории уже не затуманена электродинамикой движущихся сред, хотя именно здесь Эйнштейн впервые упоминает работу Лоренца 1904 г. и опыт Майкельсона–Морли. Вообще эта статья в отличие от первой статьи 1905 г. изобилует ссылками и показывает, что Эйнштейн тщательно следил за развитием созданной им теории, которой к моменту написания статьи исполнилось два года.

Эйнштейн начинает с анализа понятия времени и формулировки принципа постоянства скорости света. Он делает основное предположение, что «часы могут быть сверены так, что скорость распространения каждого светового луча в вакууме, измеренная с помощью этих часов, везде равна универсальной постоянной с при условии, что система координат является неускоренной». Заметим, что Эйнштейн отказывается от прежнего обозначения скорости света V и заменяет ныне общеупотребляемым обозначением c . Он указывает, что «принцип постоянства скорости света» стал «вероятным» благодаря подтверждениям, которые получила на опыте теория Лоренца, основанная на предпосылке о существовании абсолютно покоящегося эфира.

Здесь Эйнштейн ссылается на работу Лоренца 1895 г. и в особенности на тот факт, что эта теория дает коэффициент увлечения (опыт физо) в согласии с опытом. Таким образом, постулат о скорости света был высказан Эйнштейном на основании работы Лоренца 1895 г. и объяснения опыта физо. Опыт же Майкельсона–Морли показывает «принцип относительности»: «Законы природы не зависят от состояния движения системы отсчета, по крайней мере если она ускорена». Обратим внимание на слова «по крайней мере». Уже в этой работе Эйнштейн начинает думать о распространении принципа относительности на системы отсчета, находящиеся в произвольном движении.

Далее Эйнштейн выводит преобразования координат и времени, которые он не называет преобразованиями Лоренца. Из этих преобразований получаются следствия о масштабах, часах и формула сложения скоростей, а также в применении к оптике абберация и принцип Доплера. Кинематика теории относительности в этой статье почти повторяет изложение кинематики в статье 1905 г.

Переходя к электродинамике, Эйнштейн показывает, что «электродинамические основы теории Максвелла-Лоренца соответствуют принципу относительности». Он указывает, что «напряженность электрического или магнитного поля сама по себе не существует, ибо от выбора системы координат зависит, есть ли в данном месте (точнее, в пространственно-временной окрестности точечного события) электрическое или магнитное поле». Таким образом, электрическое и магнитное поле в отдельности потеряли абсолютный характер. Эйнштейн еще не нашел математического выражения для электромагнитного поля как объекта, существующего независимо от системы отсчета, но найденные им преобразования компонентов уже отражают инвариантный характер электромагнитного поля. Заметим, что Эйнштейн уточняет понятие локализации состояния в точке, говоря «о пространственно-временной окрестности точечного события». Этим высказыванием он предвещает будущую интерпретацию Минковского. Затем Эйнштейн переходит к механике материальной точки. Он развивает здесь идеи, изложенные им в статье 1905 г. Здесь он выписывает релятивистское выражение функции Гамильтона:

$$H = -\mu c^2 \sqrt{1 - \left(\frac{q}{c}\right)^2} + \text{const}$$

и каноническое уравнение динамики, написав формулу кинетической энергии:

$$L = \mu c^2 \sqrt{1 + \frac{\rho^2}{\mu^2 c^2}} + \text{const},$$

где ρ – вектор количества движения (импульса), компоненты которого имеют вид:

$$\zeta = \frac{\mu \dot{z}}{\sqrt{1 - \left(\frac{q}{c}\right)^2}};$$

μ везде обозначает массу покоя частицы, q – ее скорость.

Эйнштейн подробно останавливается на опытах Кауфмана 1906 г., приводит схему его экспериментальной установки. Он считает результаты Кауфмана, «принимая во внимание трудности исследования», согласующимися с теорией относительности. «Однако наблюдаемые отклонения являются систематическими и значительно превосходят экспериментальные ошибки измерений Кауфмана». Что является причиной этих систематических ошибок: «еще не учтенные источники ошибок или несоответствие теории относительности экспериментальным фактам»? На этот вопрос, по мнению Эйнштейна, можно ответить «лишь тогда, когда будут получены более разнообразные экспериментальные данные».

Следующий раздел посвящен механике и термодинамике систем. Здесь Эйнштейн вновь касается вопроса о связи массы и энергии. Он находит выражение энергии системы:

$$E = \left(\mu + \frac{E_0}{c^2}\right) \frac{c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{q}{c}\right)^2}}.$$

Сравнивая это выражение с полученным ранее выражением для материальной точки, он находит, что «в отношении зависимости энергии от скорости рассматриваемая физическая система ведет себя как материальная точка с массой M , причем M зависит от энергии E системы согласно формуле:

$$M = \mu + \frac{E_0}{c^2}.$$

Этот результат имеет чрезвычайно важное теоретическое значение: в последнем соотношении инертная масса и энергия физической системы выступают как однородные величины.

Масса μ эквивалентна в смысле инерции количеству энергии μc^2 . Эйнштейн обращается для проверки этой зависимости к радиоактивным процессам. Если M – атомный вес распадающегося атома, m_1, m_2, \dots – атомные веса конечных продуктов распада, то

$$M - \sum m = \frac{E}{c^2},$$

где E – энергия, выделенная при распаде одного грамм-атома радиоактивного элемента.

Подсчеты показали Эйнштейну, что для проверки формулы на известных в то время радиоактивных превращениях нужно определять атомные веса элементов с точностью до пятого знака. Он пишет: «Это, конечно, недостижимо. Однако не исключено, что будут открыты радиоактивные процессы, в которых в энергию радиоактивных излучений превращается значительно большая часть массы исходного атома, чем в случае радия».

Как мы знаем, ожидания Эйнштейна оправдались. При распаде ядер выделяется значительная энергия. Значительная энергия выделяется и при синтезе легких ядер. Возникла новая отрасль электрической техники – ядерная энергетика, использующая эти огромные энергетические ресурсы.

Эйнштейн излагает далее основы релятивистской термодинамики, содержащейся в работе Планка 1907 г. Он дает релятивистское определение температуры на основе работы Мозен-гайля (1907) по термодинамике излучения. Эйнштейн внимательно следит за развитием своей теории и использует самые последние данные, полученные другими исследователями.

Г. Минковский



Весьма важна последняя часть работы – «Принципы относительности и тяготение». Здесь Эйнштейн ставит вопрос о возможности распространения принципа относительности на системы, движущиеся друг относительно друга с ускорением. «...Этот вопрос, – говорит Эйнштейн, – должен возникнуть перед каждым, кто следил за применениями принципа относительности до настоящего времени...» Он указывает, что «пока еще нет возможности подробно обсуждать здесь этот вопрос», тем не менее считает необходимым высказать свое мнение. Мнение Эйнштейна состоит в том, что две системы, из которых одна движется с постоянным ускорением в направлении оси x , а другая покоится в однородном гравитационном поле с напряженностью u в направлении x , физически равноценны.

Так впервые появился знаменитый «принцип эквивалентности» Эйнштейна, согласно которому «мы будем предполагать полную физическую равноценность гравитационного поля и соответствующего ускорения системы отсчета».

Опираясь на этот принцип, Эйнштейн исследует влияние гравитации на часы и распространение света. Он находит, что часы в точках с разностью гравитационного потенциала Φ идут неодинаково: часы в точках с потенциалом Φ идут на $1 + \dots$ быстрее, чем в точках с нулевым потенциалом. «В этом смысле можно сказать, что процесс, происходящий в часах, – и вообще любой физический процесс – протекает тем быстрее, чем больше гравитационный потенциал в области, где разыгрывается этот процесс».

Исследуя влияние гравитации на электромагнитные процессы, Эйнштейн приходит к

выводу, что световые лучи, распространяющиеся не по оси x , искривляются гравитационным полем; изменение направления световых лучей составляет

$$\frac{\gamma}{c^2} \sin \varphi$$

на 1 см пути света, где φ означает угол между направлением силы тяжести и светового луча.

Это первые, еще не вполне точные результаты будущей общей теории относительности. Эйнштейну понадобится десять лет, чтобы закончить основы этой теории, используя соответствующий математический аппарат. Мы не будем излагать историю создания этой теории и дальнейшего развития специальной теории относительности. Остановимся лишь на фундаментальной работе Минковского «Пространство и время», опубликованной в 1908 г.

Герман Минковский родился 22 июня 1864 г. на территории Российской империи, в предместье г. Ков-но (ныне г. Каунас Литовской ССР). В детстве он был отправлен в Германию, окончил гимназию в Кенигсберге (ныне Калининград) в 1880 г., получил высшее образование в Кенигсберге и Берлине. Восемнадцатилетним студентом он представил в Парижскую Академию наук сочинение о теории квадратных форм. Сочинение юного математика было удостоено Большого приза по математике. Двадцати трех лет Минковский – приват-доцент Боннского университета, а с 1892 г. экстраординарный профессор этого университета. В 1894–1896 гг. он профессор университета в Кенигсберге, с 1896 по 1902 г. – профессор Высшего технического училища в Цюрихе.

После Цюриха Минковский был профессором Геттингенского университета. В этой должности он и скончался 12 января 1909 г., спустя неполных четыре месяца после того, как 21 сентября 1908 г. он сделал свой знаменитый доклад «Пространство и время» на 80-м съезде немецких естествоиспытателей и врачей в Кельне.

Минковский в последние годы жизни активно занимался электродинамикой движущихся сред на основе электронной теории и постулата относительности. Полученные им уравнения, названные позже «уравнениями Минковского», несколько отличаются от уравнений Лоренца, но согласуются с экспериментальными фактами. Электродинамика Минковского – четырехмерная электродинамика. Вместе с двумя докладами – «Принцип относительности» (1907) и «Пространство и время» (1908) – статья Минковского «Основные уравнения для электродинамических процессов в движущихся телах» составляет математическую теорию физических процессов в четырехмерном мире, в которой преобразования Лармора – Эйнштейна получают наглядную геометрическую интерпретацию. «Отныне пространство само по себе и время само по себе, – говорил Минковский в своем последнем докладе, – низводятся до роли теней, и лишь некоторый вид соединения обоих должен еще сохранить самостоятельность».

По Минковскому, инвариантность уравнений движения механики по отношению к преобразованию осей координат и по отношению к преобразованиям Галилея означает инвариантность по отношению к преобразованию четырехмерных координат: трех пространственных координат x , y , z и координаты времени, умноженной на мнимое число. Совокупность этих четырех координат Минковский называет «миром». С точкой (x, y, z, t) связана некоторая субстанция, совокупность состояний которой образует «мировую линию». «Весь мир представляется разложенным на такие мировые линии, и мне хотелось бы сразу отметить, что, по моему мнению, физические законы могли бы найти свое наисовершеннейшее выражение, как взаимоотношения между этими мировыми линиями».

Минковский рассматривает группу преобразований координат и времени, обозначаемую им G_6 , относительно которой законы природы остаются неизменными. «Систему отсчета можно еще соответственно преобразованиям названной группы G_6 произвольно изменять, причем выражение закона природы меняться не будет».

Минковский дает наглядную геометрическую интерпретацию этих преобразований, вводит четырехмерные векторы, различая временно-подобные и пространственно-подобные векторы, а также собственное время мировой точки P:

$$\tau = \int d\tau = \int \frac{1}{c} \sqrt{c^2 dt^2 - x^2 - y^2 - z^2}.$$

С помощью этих понятий Минковский дает четырехмерную формулировку законов механики, и в частности законов движения электрона. «В механике, переработанной таким образом, – пишет Минковский, – сами собой исчезают дисгармонии, мешавшие согласованию ньютоновской механики и современной электродинамики». И действительно, четырехмерный формализм Минковского является адекватным языком релятивистской физики, завершением построения специальной теории относительности. Дальнейшее ее развитие заключалось в решении частных задач механики, электродинамики и термодинамики на основе разработанных принципов. В настоящее время теория относительности рассматривается как необходимый элемент современного физического мировоззрения. Утверждения, противоречащие теории относительности, отвергаются как неправильные. Однако в эпоху становления теории относительности такого единодушного признания ее принципов не было. У теории относительности были непримиримые враги, такие, например, как ф. Ленард и И. Штарк. Ее считали ненужной Д. Д. Томсон, его последователи Н. П. Кастерин и А. К. Тимирязев, не желавшие расстаться с привычным эфиром. Они принимали конкретные результаты, зависимость массы от скорости, связь массы и энергии и т. д., но считали, что эти результаты могут быть получены без такого радикального изменения взглядов на пространство и время, как это было у Эйнштейна и Минковского. Но как это всегда было в истории науки, противники теории постепенно уходили, а научная молодежь сразу же принимала новые принципы.

Глава третья. Возникновение атомной и ядерной физики

Открытие Рентгена

Конец XIX в. ознаменовался повышенным интересом к явлениям прохождения электричества через газы.

Еще фарадей серьезно занимался этими явлениями, описал разнообразные формы разряда, открыл темное пространство в светящемся столбе разреженного газа, фарадеево темное пространство отделяет синеватое, катодное свечение от розоватого, анодного.

Дальнейшее увеличение разрежения газа существенно изменяет характер свечения. Математик Плюкер (1801-1868) обнаружил в 1859 г. при достаточно сильном разрежении слабо голубоватый пучок лучей, исходящий из катода, доходящий до анода и заставляющий светиться стекло трубки, ученик Плюкера Гитторф (1824–1914) в 1869 г. продолжил исследования учителя и показал, что на флюоресцирующей поверхности трубки появляется отчетливая тень, если между катодом и этой поверхностью поместить твердое тело.

Гольдштейн (1850-1931), изучая свойства лучей, назвал их катодными лучами (1876). Через три года Вильям Крукс (1832–1919) доказал материальную природу катодных лучей и назвал их «лучистой материей» – веществом, находящимся в особом четвертом состоянии. Его доказательства были убедительны и наглядны. Опыты с «трубкой Крукса» демонстрировались позже во всех физических кабинетах. Отклонение катодного пучка магнитным полем в трубке Крукса стало классической школьной демонстрацией.

Однако опыты по электрическому отклонению катодных лучей не были столь убедительными. Герц не обнаружил такого отклонения и пришел к выводу, что катодный луч – это колебательный процесс в эфире. Ученик Герца ф. Ленард, экспериментируя с катодными лучами; в 1894 г. показал, что они проходят через окошечко, закрытое

алюминиевой фольгой, и вызывают свечение в пространстве за окошечком. Явлению прохождения катодных лучей через тонкие металлические тела Герц посвятил свою последнюю статью, опубликованную в 1892 г. Она начиналась словами: «Катодные лучи отличаются от света существенным образом в отношении способности проникать через твердые тела». Описывая результаты опытов по прохождению катодных лучей через золотые, серебряные, платиновые, алюминиевые и т. д. листочки, Герц отмечает, что он не наблюдал особых от-личий в явлениях. Лучи проходят через листочки не прямолинейно, а дифракционно рассеиваются. Природа катодных лучей все еще оставалась неясной.

Вот с такими трубками Крукса, Ленарда и других и экспериментировал Вюрцбургский профессор Вильгельм Конрад Рентген в конце 1895 г. Однажды по окончании опыта, закрыв трубку чехлом из черного картона, выключив свет, но не выключив еще индуктор, питающий трубку, он заметил свечение экрана из синеродистого бария, находящегося вблизи трубки. Пораженный этим обстоятельством, Рентген начал экспериментировать с экраном. В своем первом сообщении «О новом роде лучей», датированном 28 декабря 1895 г., он писал об этих первых опытах: «Кусок бумаги, покрытой платиносинеродистым барием, при приближении к трубке, закрытой достаточно плотно прилегающим к ней чехлом из тонкого черного картона, при каждом разряде вспыхивает ярким светом: начинает флюоресцировать.

В. Крукс



Флюоресценция видна при достаточном затемнении и не зависит от того, подносить ли бумагу стороной, покрытой или не покрытой платиносинеро-дистым барием, флюоресценция заметна еще на расстоянии двух метров от трубки».

Тщательное исследование показало Рентгену, «что черный картон, не прозрачный ни для видимых и ультрафиолетовых лучей солнца, ни для лучей электрической дуги, пронизывается каким-то агентом, вызывающим энергичную флюоресценцию». Рентген исследовал проникающую способность этого «агента», который он для краткости назвал «Х-лучи», для различных веществ. Он обнаружил, что лучи свободно проходят через бумагу, дерево, эбонит, тонкие слои металла, но сильно задерживаются свинцом.

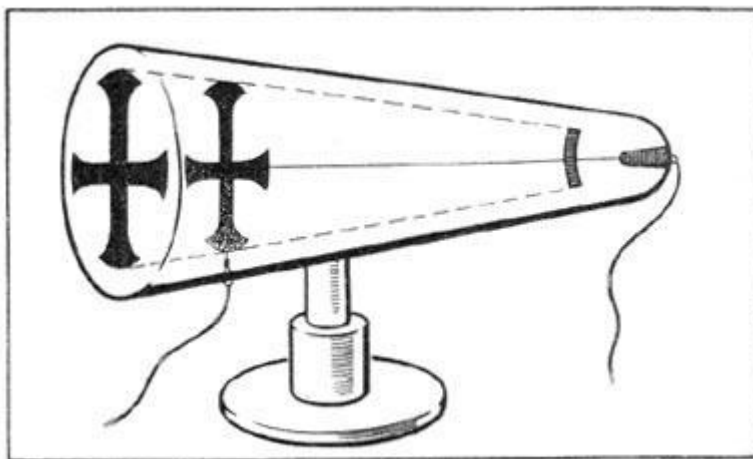


Рис. 54. Опыт Крукса с катодым лучом

Затем он описывает сенсационный опыт: «Если держать между разрядной трубкой и экраном руку, то видны темные тени костей в слабых очертаниях тени самой руки». Это было первое рентгеноскопическое исследование человеческого тела. Рентген получил и первые рентгеновские снимки, приложив их к своей брошюре. Эти снимки произвели огромное впечатление; открытие еще не было завершено, а уже начала свой путь рентгенодиагностика. «Моя лаборатория была наводнена врачами, приводившими пациентов, подозревавших, что они имеют иголки в разных частях тела», – писал английский физик Шустер.

Уже после первых опытов Рентген твердо установил, что X-лучи отличаются от катодных, они не несут заряда и не отклоняются магнитным полем, однако возбуждаются катодными лучами. «...X-лучи не идентичны с катодными лучами, но возбуждаются ими в стеклянных стенках разрядной трубки», – писал Рентген.

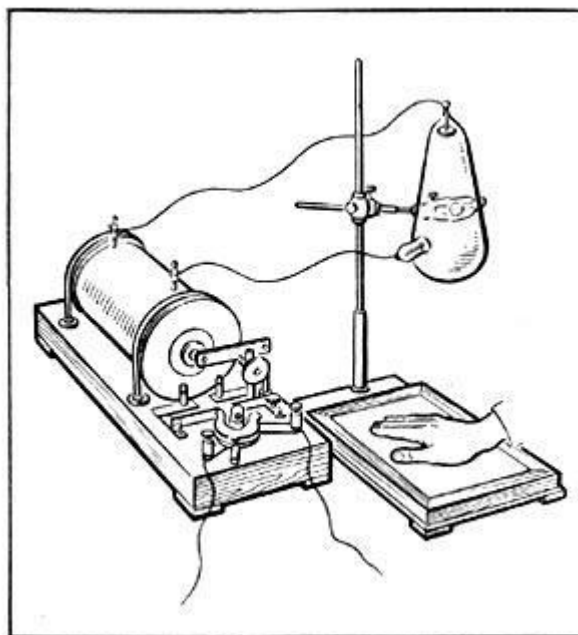


Рис. 55. Опыт с первой рентгеновской трубкой

Он установил также, что они возбуждаются не только в стекле, но и в металлах.

Упомянув о гипотезе Герца – Ленарда, что катодные лучи «есть явление, происходящее в эфире», Рентген указывает, что «нечто подобное мы можем сказать и о наших лучах». Однако ему не удалось обнаружить волновые свойства лучей, они «ведут себя иначе, чем известные до сих пор ультрафиолетовые, видимые, инфракрасные лучи». По

своим химическим и люминесцентным действиям они, по мнению Рентгена, сходны с ультрафиолетовыми лучами. В первом сообщении он высказал оставленное потом предположение, что они могут быть продольными волнами в эфире.

Открытие Рентгена вызвало огромный интерес в научном мире. Его опыты были повторены почти во всех лабораториях мира. В Москве их повторил П. Н. Лебедев. В Петербурге изобретатель радио А. С. Попов экспериментировал с X-лучами, демонстрировал их на публичных лекциях, получая различные рентгенограммы. В Кембридже Д. Д. Томсон немедленно применил ионизирующее действие рентгеновских лучей для изучения прохождения электричества через газы. Его исследования привели к открытию электрона.

В. Рентген



Остановимся на биографии Рентгена.

Вильгельм Конрад Рентген родился 27 марта 1845 г. в пограничной с Голландией области Германии, в г. Ленепе. Он получил техническое образование в Цюрихе в той самой Высшей технической школе (политехникуме), в которой позже учился Эйнштейн. Увлечение физикой заставило его после окончания школы в 1866 г. продолжить физическое образование. Защитив в 1868 г. диссертацию на степень доктора философии, он работает ассистентом на кафедре физики сначала в Цюрихе, потом в Гисене, а затем в Страсбурге у Кундта. Здесь Рентген прошел хорошую экспериментальную школу и стал первоклассным экспериментатором. Он производил точные измерения отношения c_p/c_v для газов, вязкости и диэлектрической проницаемости ряда жидкостей, исследовал упругие свойства кристаллов, их пьезоэлектрические и пироэлектрические свойства, измерял магнитное поле движущихся зарядов (ток Рентгена). Часть важных исследований Рентген выполнил со своим учеником, одним из основателей советской физики А. ф. Иоффе.

Работая в 1885–1900 гг. профессором Вюрцбургского университета, Рентген открыл лучи, ныне носящие его имя. За это открытие он получил в 1901 г. Нобелевскую премию, став первым нобелевским лауреатом по физике. С 1900 г. и до последних дней жизни (умер он 10 февраля 1923 г.) он работал в Мюнхенском университете.

Открытие радиоактивности

Открытие рентгеновских лучей произошло 8 ноября 1895 г. Сообщение об открытии датировано 28 декабря. Более полутора месяцев ученый тщательно исследовал неведомые лучи. Ему удалось установить, что они возникают там, где стенки трубки сильно флюоресцируют под ударами катодных лучей. В понедельник 20 января 1896 г. Анри Пуанкаре на заседании Парижской Академии рассказал об открытии новых лучей,

демонстрировал рентгеновские снимки и высказал предположение, что рентгеновское излучение связано с флюоресценцией и, возможно, возникает всегда в люминесцирующих веществах и никакой катодной трубки для получения X-лучей не надо. Среди участников заседания был Анри Беккерель, отец и дед которого – оба физики – в свое время занимались флюоресценцией и фосфоресценцией. Беккерель решил проверить гипотезу Пуанкаре. Еще в феврале 1896 г. А. Беккерель демонстрировал действие флюоресцирующего сернистого цинка на фотопластинку, завернутую в черную бумагу. Беккерель решил использовать соли урана. Он взял из коллекции минералов своего отца двойной сульфат уранила калия. Обернув фотопластинку черной бумагой, он положил на нее металлическую пластинку причудливой формы, покрытую слоем урановой соли, и выставил на несколько часов на яркий солнечный свет. После проявления пластинки на ней было отчетливо видно изображение металлической фигуры, той самой фигуры, которая покрывалась до опыта солью урана. Повторные опыты Беккереля дали аналогичный результат, и 24 февраля 1896 г. он доложил академии о результатах опытов. Казалось, что гипотеза Пуанкаре полностью подтверждается. Но осторожный Беккерель решил поставить контрольные опыты. К концу февраля он приготовил новую пластинку. Но погода была пасмурной и оставалась такой до 1 марта. Утро 1 марта было солнечным, и опыты можно было возобновить. Беккерель решил, однако, проявить пластинки, лежавшие несколько дней в темном шкафу. На проявленных пластинках четко обозначились силуэты образцов минералов, лежавших на непрозрачных экранах пластинок.



А. Беккерель

Минерал без предварительного освещения испускал невидимые лучи, действовавшие на фотопластинку через непрозрачный экран. Беккерель немедленно ставит повторные опыты. Оказалось, что соли урана сами по себе без всякого внешнего воздействия испускают невидимые лучи, засвечивающие фотопластинку и проходящие через непрозрачные слои. 2 марта Беккерель сообщил о своем открытии.

Длинным рядом экспериментов Беккерель шаг за шагом опровергал гипотезу Пуанкаре. Оказалось, что лучи могут испускать только соединения урана – это «урановые лучи», или «лучи Беккереля», как их потом стали называть. Они способны ионизировать воздух и разряжать заряженный электроскоп. Способность урана испускать лучи не ослабевала месяцами. 18 мая 1896 г. Беккерель со всей определенностью констатировал наличие этой способности у урановых соединений и описал свойства излучения. Но чистый уран оказался в распоряжении Беккереля только осенью, и 23 ноября 1896 г. Беккерель сообщил о свойстве урана испускать невидимые «урановые лучи» вне зависимости от его химического и физического состояния.

В 1897 г. Беккерель продолжает изучать открытые им лучи. В конце этого года в

изучение нового явления включаются Мария Склодовская и ее муж Пьер Кюри. В этом же году происходит и другое важное открытие. В лаборатории Кавендиша в Кембридже решается загадка катодных лучей Спор Герца, Ленарда и других немецких физиков с Круксом и другими сторонниками корпускулярной природы катодных лучей решается в пользу сторонников последней концепции. Доказал корпускулярную природу катодных лучей молодой директор лаборатории Кавендиша Джозеф Джон Томсон.

Д. Д. Томсон. Джозеф Джон Томсон родился 18 декабря 1856 г. в Манчестере. Здесь, в Манчестере, он окончил Оуэн-колледж, а в 1876–1880 гг. учился в Кембриджском университете в знаменитом колледже святой Троицы (Тринити-колледж), где когда-то профессором был Исаак Ньютон. В январе 1880 г. Томсон успешно выдержал заключительные экзамены и начал работать в Кавендишской лаборатории. В это время директором лаборатории был лорд Рэлей. При Рэлее значительно увеличилось число студентов, занимавшихся научными исследованиями, увеличился штат преподавателей, за счет пожертвований Рэрея и его друзей лаборатория по поднялась приборами.

22 декабря 1884 г., после ухода Рэрея, 27-летний Томсон советом избирателей был назначен третьим профессором Кавендишской лаборатории. Важные перемены происходят в том-соновский период. В 1887 г. значительное число книг Максвелла было передано лаборатории. Они образовали ядро Кавендишской библиотеки. В 1890 г. была учреждена Максвеллов-ская стипендия из средств, завещанных университету миссис Максвелл. Стипендия давалась на три года наиболее одаренным студентам-исследователям. В 1888 г. Томсон основал классы-практикумы для студентов-медиков. Это явилось причиной резкого увеличения числа студентов, работавших в лаборатории. Временно пришлось перевести медицинские классы в старые комнаты-анатомички до тех пор, пока в 1896 г. не был открыт южный флигель лаборатории. Но и этого оказалось недостаточно, так как в 1895 г., по инициативе Д. Д. Томсона, в Кембридже произошла реформа, согласно которой в лабораторию стали приходить выпускники других университетов. Специальная комиссия определяла способность пришедших проводить научные исследования. После двух лет работы в Кембридже они получали степень бакалавра и удостоверение исследователя. Студенты-исследователи из всех стран мира приезжали в Кембридж. Среди приехавших были Э. Резерфорд из Новой Зеландии, Таунсенд из Ирландии, Ланжевен из Франции, Бородовский из России, Зелени из США, Ч. Вильсон из Австралии и много других. С каждым годом исследователей из других стран приезжало все больше и больше. Требовалось новое расширение лаборатории. Рэлей в 1906 г. большую часть своих доходов пожертвовал на строительство левого крыла Кавендишской лаборатории. Новое расширение потребовало, в свою очередь, еще большего увеличения штата и совершенствования методов обучения.

В 1884 г. выходит «Практическая физика» Глазбрука и Шоу, а в 1896 – «Записки лаборатории по элементарной практической физике». Эти книги обобщили ценный опыт лаборатории по проведению практических занятий по общей физике, став главным руководством для работы студентов. Наиболее важным в работе со студентами-исследователями Томсон считал поддержание в них творческого энтузиазма. В послании Британской Ассоциации *of* с убежденностью констатировал, что отсутствие энтузиазма – наиболее частая причина неудач. Томсон также предупреждал всех работающих для продвижения науки о тормозящем действии на энтузиазм затянувшегося курса академического обучения. Эта идея Томсона претворялась в жизнь всей деятельностью лаборатории.

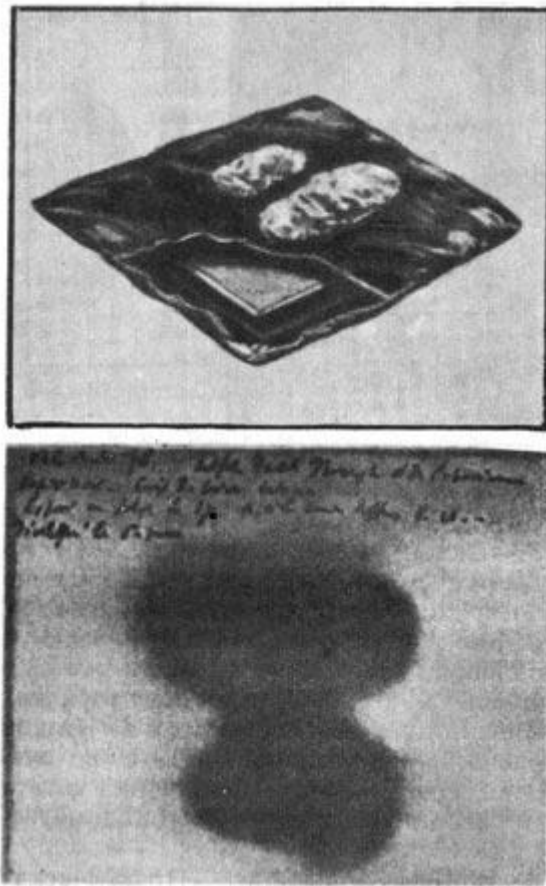


Рис. 56. Опыт Беккереля

В 1893 г. Томсон организовал Кавендишское физическое общество. На заседаниях этого общества обсуждались статьи, готовившиеся к публикации. Такие дискуссии помогали исследователям разрешать некоторые неясности, стимулировали их интерес к исследованиям.

Томсон много внимания уделял развитию мастерских лаборатории, приглашал хороших механиков, обучал их. Так, в томсоновское время работал механиком Синслайр. Как вспоминал Д. Д. Томсон, «он был хорошим механиком, но не знал стеклодувного дела. Я дал ему несколько уроков, и спустя 2–3 месяца он овладел этим делом».

Итак, в томсоновский период лаборатория становится признанной международной школой физической науки. Здесь начали свой научный путь Резерфорд, Бор, Ланжевен и многие другие, в том числе и русские ученые. Заслуги многих учеников Томсона были всемирно признаны. Нобелевской премии были удостоены И. Баркла, В. Брэгг, О. Ричардсон, Ч. Т. Вильсон, Э. Резерфорд.

Перейдем теперь к основному показателю творческой деятельности лаборатории—важнейшим научным исследованиям и в особенности к исследованиям профессора Д. Д. Томсона. При Рэлее Томсон начал свой научный путь в Кавендишской лаборатории. Первая его статья, опубликованная в 1880 г., была посвящена электромагнитной теории света. В следующем, 1881 г. появились две работы, из которых одна положила начало электромагнитной теории массы. Статья называлась «Об электрических и магнитных эффектах, производимых движением наэлектризованных тел». В этой статье выражена та мысль, что «эфир вне заряженного тела является носителем всей массы, импульса и энергии». С увеличением скорости изменяется характер поля, в силу чего вся эта «полевая» масса возрастает, оставаясь все время пропорциональной энергии. Научные успехи Томсона были высоко оценены Рэлеем, и, уходя в 1884 г. с поста директора лаборатории Кавендиша, он, не колеблясь, рекомендовал своим преемником Томсона.

Открытие рентгеновских лучей обострило интерес Томсона к явлениям прохождения

электричества через газы. Результатом этой коллективной работы, в которой, кроме Томсона, принимали участие молодые его ученики и сотрудники, явилась классическая монография «Прохождение электричества через газы», первое издание которой вышло в 1903 г. В ходе этих исследований был открыт электрон.



Дж. Томсон

«Исследования, которые привели к открытию электрона, – писал позже Томсон в своих воспоминаниях, – начались с попыток объяснения расхождения поведения катодных лучей под действием магнитных и электрических сил». Действие магнитного поля на катодные лучи было обнаружено многими исследователями, однако в отношении действия электрического поля существовали разногласия. Одни авторы утверждали, что они наблюдали действие электрического поля на катодные лучи, другие отрицали это. Томсон показал, что это расхождение обусловлено низкой техникой откачки газа. Остатки ионизированного газа нейтрализуют влияние внешнего электрического поля. Томсон усовершенствовал технику откачки и получил заметные отклонения катодного пучка электрическим полем. Трубка Томсона с впаянными в нее пластинками конденсатора стала прообразом современной электронно-лучевой трубки.

Подвергая катодный пучок действию электрического и магнитного полей, Томсон получил возможность определить отношение e/m для катодных лучей. Это отношение оказалось независимым от природы газа в трубке и в тысячу раз большим, чем отношение e/m для водородного иона, полученное из законов электролиза. Если принять, что заряд катодной частицы равен заряду водорода, то масса катодной частицы оказывается в тысячу раз меньше массы атома водорода, самого легкого атома. Этот результат был ошеломляющим. Томсон вспоминает, с каким недоверием было встречено его сообщение в Королевском институте.

Томсон продолжал свои опыты. Он исследовал отношение e/m для частиц, вырывааемых ультрафиолетовым светом, для частиц, испускаемых накалившимся катодом, – всюду порядок этого отношения оказался таким же, как для катодных лучей. Эти мельчайшие частицы вещества Томсон назвал корпускулами, однако это название не удержалось. Частицы стали называться электронами. (Термин «электрон» ввел в 1891 г. английский ученый Дж. Стоней.)

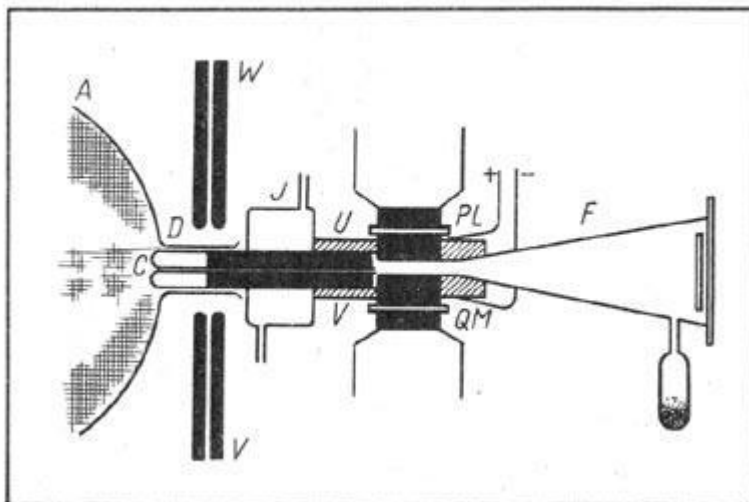


Рис. 57. Метод парабол Томсона

Стало ясно, что электроны являются составными частями атомов всех веществ. Сам Томсон построил электромагнитную модель атома, предположив, что отрицательно заряженные корпускулы (электроны) располагаются определенным образом внутри положительно заряженной сферы. (Следует отметить, что такую же модель предлагал и Вильям Томсон.) Этот «атом Томсонов» был распространенной моделью атома до открытия ядра Резерфордом и модели атома Бора.

Метод Томсона имел фундаментальное значение. Он лежит в основе устройства электронно-лучевых трубок, первые модели которых были построены в 1897 г. самим Томсоном и независимо от него ф. Брауном.

Развитие метода Томсона составляет основу электронной оптики, электронных ламп, современных ускорителей заряженных частиц. Томсон научил физиков управлять электронами, и в этом его основная заслуга. В 1906 г. Д.Д.Томсону за его исследование прохождения электричества через газы была присуждена Нобелевская премия по физике.

Томсон разработал и методы изучения положительно заряженных частиц. Вышедшая в 1913 г. его монография «Лучи положительного электричества» положила начало масс-спектрологии. Развивая методику Томсона, его ученик Астон построил первый масс-спектрометр и разработал метод анализа и разделения изотопов. В лаборатории Томсона начались первые измерения элементарного заряда из наблюдения движения заряженного облака в электрическом поле. Этот метод был в дальнейшем усовершенствован Милликеном (1868–1953) и привел к измерениям заряда электрона.

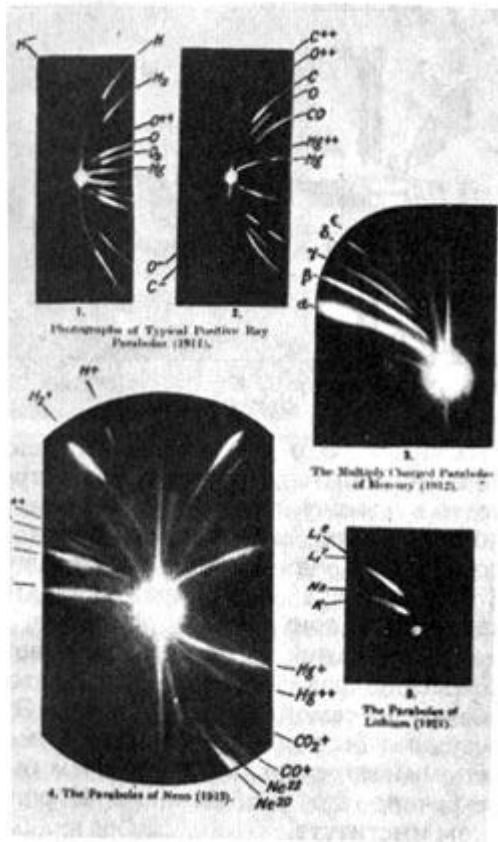


Рис. 58. Фотографии, полученные Томсоном при применении метода парабол
 В лаборатории Кавендиша начала свою жизнь и знаменитая камера Вильсона, построенная учеником и сотрудником Томсона Вильсоном в 1911 г.

Таким образом, роль Д. Д. Томсона и его учеников в становлении и развитии атомной и ядерной физики очень велика. Но Д. Д. Томсон («Джи, Джи», как его называли) до конца своей жизни оставался сторонником эфира, разрабатывал модели движения в эфире, результатом которых, по его мнению, были наблюдаемые явления. Так, отклонение катодного пучка в магнитном поле он интерпретировал как прецессию гироскопа, наделяя совокупность электрического и магнитного полей вращательным моментом. Умер Д. Д. Томсон 30 августа 1940 г., в трудное для Англии время, когда над ней нависла угроза вторжения гитлеровцев.

Открытия П. и М. Кюри

Вернемся к радиоактивности. Беккерель продолжал исследование открытого им явления. Он считал его свойством урана, аналогичным фосфоресценции. Уран, по мнению Беккереля, «представляет первый пример металла, обнаруживающего свойство, подобное невидимой фосфоресценции». Он считает свойства излучения урана подобными свойствам световых волн. Природа нового явления, таким образом, была еще не понята, не существовало и слова «радиоактивность».

М. Склодовская-
Кюри



Беккерель обнаружил и тщательно исследовал свойство урановых лучей делать электропроводящим воздух. Его заметка 23 ноября 1896 г. появилась почти одновременно с заметкой Д. Томсона и Э. Резерфорда, показавших, что рентгеновские лучи делают электропроводящим воздух благодаря ионизирующему действию. Так был открыт важный метод исследования радиоактивности. Сообщения Беккереля 1 марта и 12 апреля 1897 г., излагавшего результаты наблюдений разряда наэлектризованных тел под действием уранового излучения, содержали важное указание, что активность препаратов урана оставалась неизменной более года.

Вскоре в исследование нового загадочного явления включились другие исследователи, и прежде всего супруги Пьер и Мария Кюри. Мария Склодовская-Кюри начала исследования радиоактивных явлений в конце 1897 г., избрав изучение этих явлений темой своей докторской диссертации. В апреле 1898 г. была опубликована ее первая статья по радиоактивности. Позднее в своей докторской диссертации она писала: «Я измеряла напряженность урановых лучей, пользуясь их свойством сообщать воздуху электропроводность... При этих измерениях употреблялась металлическая пластинка, покрытая слоем уранового порошка».

Уже в этой первой работе М. Склодовская-Кюри исследовала, нет ли других веществ, обладающих свойством, аналогичным урану. Она нашла, что «торий и его соединения имеют то же свойство». Одновременно аналогичный результат был опубликован в Германии Шмидтом.

Далее она пишет: «Таким образом, уран, торий и их соединения испускают беккерелевы лучи. Вещества, обладающие этим свойством, я назвала радиоактивными. С тех пор это имя стало общепринятым». Итак, с июля 1898 г., когда был опубликован новый термин в физике, начало жить важное понятие «радиоактивность». Заметим, что эта июльская статья была подписана уже супругами Пьером и Марией Кюри.

Пьер оставил свою тематику и активно включился в работу жены. В заброшенном сарае Школы промышленной физики и химии, превращенном супругами в лабораторию, началась титаническая работа с отбросами урановой руды, полученной из Иохимсталля (ныне Иохимов). В своей книге «Пьер Кюри» Мария Кюри описывает, в каких условиях велась эта работа: «Мне доводилось обрабатывать зараз до двадцати килограммов первичного материала и в результате уставлять сарай большими сосудами с химическими осадками и жидкостями».

Это был изнурительный труд—переносить мешки в сосуды, переливать жидкости из одного сосуда в другой, несколько часов подряд мешать кипящий материал в чугунном

сосуде».

Это был не только изнурительный, но и опасный труд: исследователи еще не знали вредного действия радиоактивных излучений, которые в конце концов привели Марию Склодовскую-Кюри к безвременной кончине.

Напряженный труд принес щедрые плоды. В том же, 1898 г. появляются одна за другой статьи, сообщающие о получении новых радиоактивных веществ. В июльском выпуске докладов Парижской Академии наук появилась статья П. и М. Кюри «О новом радиоактивном веществе, содержащемся в смоляной руде». Описав метод химического выделения нового вещества, положившего начало радиохимии, они писали далее: «Мы... полагали, что то вещество, которое мы извлекли из смоляной руды, содержит какой-то металл, до сих пор еще не замеченный, по своим аналитическим свойствам близкий к висмуту. Если существование этого нового металла подтвердится, мы предлагаем назвать его полонием, по названию страны, из которой один из нас родом»

Активность полония оказалась в 400 раз выше активности урана. В декабре того же года появилась статья супругов Кюри и Бемона «Об одном новом, сильно радиоактивном веществе, содержащемся в смоляной руде». Здесь сообщалось об открытии нового, сильно радиоактивного вещества, по химическим свойствам близкого бария. Согласно точке зрения, высказанной М Склодовской в ее первой работе, радиоактивность является свойством чтомов, сохраняющимся во всех химических и физических состояниях вещества». «При такой точке зрения, – писали авторы, – радиоактивность нашего вещества, не будучи обусловлена барием (барий не радиоактивен, – Я. К.), должна быть приписана какому-то другому элементу».

Было получено хлористое соединение нового элемента, активность которого в 900 раз превышает активность урана. В спектре соединения была обнаружена линия, не принадлежащая ни одному из известных элементов. «Перечисленные нами доводы, – писали в заключение авторы статьи, – заставляют нас думать, что это новое радиоактивное вещество содержит какой-то новый элемент, который мы предлагаем назвать радием».

Открытия полония и радия завершили новый этап в истории радиоактивности. В декабре 1903 г. А. Беккерель, Пьер и Мария Кюри были награждены Нобелевской премией. Приведем краткие биографические справки о Нобелевских лауреатах 1903 г.

Анри Беккерель родился 15 декабря 1852 г. в семье известного физика Александра Эдмонда Беккереля, прославившегося своими исследованиями фосфоресценции. Крупным ученым был и отец Александра Эдмонда – дед Анри – Антуан Сезар Беккерель. Беккерели: дед, сын, внук – жили в доме французского естествоиспытателя Кювье, принадлежащем Национальному музею естественной истории. В этом доме Анри и сделал свое великое открытие, и мемориальная доска на фасаде гласит: «В лаборатории прикладной физики Анри Беккерель открыл радиоактивность 1 марта 1896 г.».

Анри учился в лицее, затем в Политехнической школе, по окончании которой работал инженером в Институте путей сообщения. Но вскоре его постигло горе: умерла его молодая жена, и молодой вдовец с сыном Жаном, будущим четвертым физиком Беккерелем, переезжает к отцу в Музей естественной истории. Сначала он работает репетитором Политехнической школы, а с 1878 г., после смерти деда, становится ассистентом своего отца.

В 1888 г. Анри защищает докторскую диссертацию и ведет вместе с отцом разностороннюю научную работу. Через год его избирают в Академию наук. С 1892 г. он становится профессором Национального музея естественной истории. Открытие радиоактивности круто повернуло судьбу Беккереля. Он – Нобелевский лауреат, обладатель всех знаков отличия Парижской Академии наук, член Лондонского Королевского общества. Летом 1908 г. академия избирает его непременным секретарем физического отделения. Умер Беккерель 25 августа 1908 г.

Пьер Кюри родился 15 мая 1859 г. в Париже в семье врача. Эжен Кюри, отец Пьера, во время революции 1848 г., в дни Парижской Коммуны был на боевом посту, оказывая помощь раненым революционерам и коммунарам. Человек высокого гражданского долга и мужества,

он привил эти качества своим сыновьям Жаку и Пьеру. Мальчики – шестнадцатилетний Жак и двенадцатилетний Пьер помогли отцу в дни баррикадных боев Коммуны.

П. Кюри



Пьер получил домашнее образование. Незаурядные способности и прилежание помогли ему выдержать в шестнадцать лет экзамен на звание бакалавра. Юный бакалавр слушал лекции в Сорбонне, работал в лаборатории профессора Леру в фармацевтическом институте и уже в восемнадцать лет стал лицензиатом физики. С 1878 г. он работал ассистентом Парижского университета. С этого же времени он вместе с братом Жаком занимается исследованием кристаллов. Вместе с Жаком они открывают пьезоэлектричество. В 1880 г. публикуется статья Пьера и Жака Кюри «Образование полярного электричества под действием давления в гемиздрических кристаллах с косыми гранями». Основной вывод работы они формулируют следующим образом: «Какова бы ни была причина, всякий раз, когда гемиздрический кристалл с косыми гранями сжимается, возникает электрическая поляризация определенного направления; всякий раз, когда этот кристалл растягивается, выделение электричества происходит в противоположном направлении».

Затем они открывают противоположный эффект: деформацию кристаллов под действием электрического напряжения. Они впервые изучили электрические деформации кварца, создали пьезокварц и использовали его для измерения слабых электрических зарядов и токов. Ланжевен при менял пьезокварц для генерации ультразвука. Пьезокварц используется также и для стабилизации электрических колебаний.

После пятилетней плодотворной работы пути братьев разошлись. Жак Кюри (1855–1941) уехал в Монпелье и занимался минералогией, Пьер был назначен в 1883 г. руководителем практических работ по физике в только что открытой Парижским муниципалитетом Школе промышленной физики и химии. Здесь Кюри выполнил свои исследования по кристаллографии и симметрии, часть которых он провел с Жаком, время от времени приезжавшим в Париж.

В 1891 г. Пьер Кюри обратился к опытам по магнетизму. В результате этих опытов он четко разделил диамагнитные и парамагнитные явления по их зависимости от температуры. Изучая зависимость ферромагнитных свойств от температуры, он нашел «точку Кюри», при которой исчезают ферромагнитные свойства, и открыл закон зависимости восприимчивости парамагнитных тел от температуры (закон Кюри).

В 1895 г. Пьер Кюри женился на Марии Склодовской.

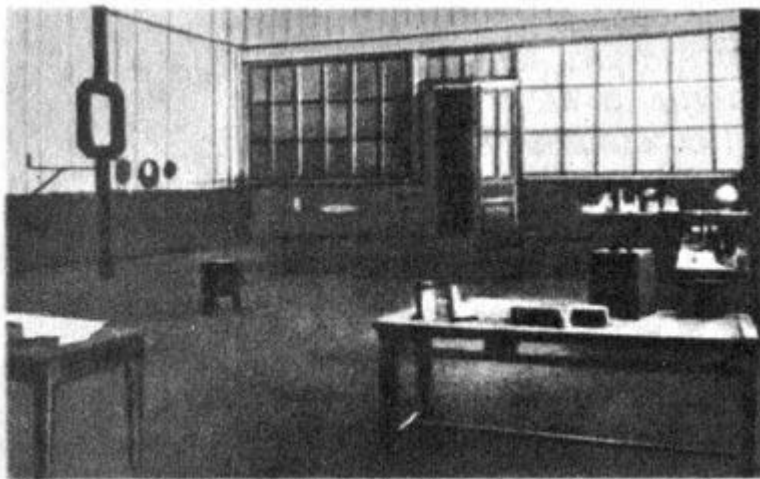


Рис. 59. Лаборатория П. и М. Кюри

С момента открытия радиоактивности новая область исследования захватила молодых супругов, и с 1897 г. они совместно работают над ее изучением. Это творческое содружество продолжалось до дня трагической гибели Пьера. 19 апреля 1906 г., возвратившись из деревни, где он с семьей проводил пасхальные каникулы, Пьер Кюри участвовал на собрании Ассоциации преподавателей точных наук. Возвращаясь с собрания, он, переходя улицу, попал под ломовую телегу и был убит ударом в голову.

«Угас один из тех, кто был истинной славой Франции», – писала в биографии Пьера Кюри Мария Кюри.

Мария Склодовская-Кюри. Мария Склодовская родилась в Варшаве 7 ноября 1867 г. в семье преподавателя варшавской гимназии. Мария получила хорошую домашнюю подготовку и закончила гимназию с золотой медалью.

В 1883 г. после гимназии она работала воспитательницей в семьях богатых поляков. Потом она некоторое время жила дома и работала в лаборатории своего двоюродного брата, сотрудника А.И.Менделеева Иосифа Богусского.

В 1891 г. она уезжает в Париж и поступает на физико-математический факультет Сорбонны. В 1893 г. она получает степень лиценциата физических наук, а через год становится лиценциатом математических наук.

В это же время она выполняет первую научную работу по теме «Магнитные свойства закаленной стали», предложенной известным изобретателем цветной фотографии Липпманом. Работая над темой, она перешла в Школу промышленной физики и химии, где встретила с Пьером Кюри.

Вместе они открыли новые радиоактивные элементы, вместе были удостоены в 1903 г. Нобелевской премии, и после гибели Пьера Мария Кюри стала его преемницей в Парижском университете, где Пьер Кюри был в 1900 г. избран профессором. 13 мая 1906 г первая женщина–лауреат Нобелевской премии становится первой женщиной-профессором знаменитой Сорбонны Она же впервые в мире начала читать курс лекций по радиоактивности. Наконец, в 1911 г. она становится первым ученым дважды лауреатом Нобелевской премии. В этом году она получила Нобелевскую премию по химии.

Во время первой мировой войны Мария Кюри создала рентгеновские установки для военных госпиталей. Перед самой войной в Париже был открыт Институт радия, ставший местом работы самой Кюри, ее дочери Ирен и зятя Фредерика Жолио. В 1926 г. Мария Склодовская-Кюри избирается почетным членом Академии наук СССР.

Тяжелое заболевание крови, развившееся в результате длительного действия радиоактивного излучения, привело ее к смерти 4 июля 1934 г. В год ее смерти Ирен и Фредерик Жолио-Кюри открыли искусственную радиоактивность. Славный путь династии Кюри блистательно продолжался.

Открытие квантов

Открытие рентгеновских лучей (Рентген, 1895 г.), радиоактивности (Беккерель, 1896 г.), электрона (Том-сон, 1897 г.), радия (Пьер и Мария Кюри, 1898 г.) положили начало изучению атомной и ядерной физики. В 1899 г. Э. Резерфорд выступил с большой статьей о радиоактивности, показав, что излучение урана и тория имеет сложный состав, разделяясь на лучи, названные им аив (позже к ним присоединились у-лучи). Это указывало на сложный характер радиоактивного излучения. В 1900 г., изучая давно известное человечеству тепловое излучение, Макс Планк открыл его атомный характер.

Тепловое излучение знакомо людям с незапамятных времен. Греясь на солнце или у огня, человек наслаждался теплом, испускаемым солнечными лучами или лучами очага. Но вот на вопрос, почему нагретая печь греет, оказалось не так-то легко ответить. Существование «тепловых лучей» предположил в XVIII в. химик Шееле (1742–1786), но опыты с тепловыми лучами проводили еще флорентийские академики, доказавшие, что «холод» от глыбы льда охлаждает шарик термоскопа, помещенного в фокусе вогнутого зеркала. Опыты с отражением тепловых лучей вогнутыми зеркалами («зеркала Пикте») проводил в XVIII в. Пикте (1752-1825), а Прево (1751–1839) в 1791 г. установил закон подвижного теплового равновесия. В. Гершель открыл невидимые «тепловые лучи» за красной частью видимого спектра.

Теория теплового излучения началась с 1859 г., когда Кирхгоф открыл основной закон теплового излучения, носящий его имя, и установил понятие абсолютно черного тела, испуска-тельная способность которого имеет универсальное значение. Макс Планк в своей научной автобиографии писал о законе Кирхгофа: «Этот закон утверждает, что если в откачанном пустом пространстве, ограниченном полностью отражающими стенками, находятся совершенно произвольные излучающие и поглощающие тела, то с течением времени устанавливается такое состояние, при котором все тела имеют одну и ту же температуру, а излучение по всем своим свойствам, в том числе по спектральному распределению энергии, зависит только от температуры, но не от свойств тел». Это равновесное излучение и есть излучение абсолютно черного тела, закон распределения которого по длинам волн спектра представляет универсальную функцию длин волн и температуры. «Это так называемое нормальное распределение энергии, – писал Планк, – представляет собой нечто абсолютное».

Через 20 лет после установления Кирхгофом своего закона (он обосновал его с помощью принципов термодинамики в 1860 г.) Жозеф Стефан (1835-1893) из измерений, выполненных французскими физиками, сделал вывод, что суммарная энергия всех длин волн, излучаемых черным телом, пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры тела. Коэффициент пропорциональности есть универсальная константа.

Стефан сформулировал свой закон в 1879 г. Через пять лет, в 1884 г., ученик Стефана Людвиг Больцман, применив к излучению принципы термодинамики и исходя из существования светового давления, равного, по Максвеллу, для изотропного излучения одной трети объемной плотности энергии, вывел теоретически закон Стефана. С этого времени он стал называться законом Стефана – Больцмана, а постоянная закона – постоянной Стефана – Больцмана.

Больцман показал теоретикам путь исследования – применение принципов термодинамики и электромагнитной теории света. Идя этим путем и привлекая кинетическую теорию материи, русский физик В. А. Михельсон в 1887 г. приступил к теоретическому объяснению распределения энергии в спектре излучения твердого тела. Работа Михельсона «Опыт теоретического объяснения распределения энергии в спектре твердого тела» была опубликована в январе 1887 г. в «Журнале Русского физико-химического общества», а также на французском языке в «Journal de Physique» и на английском языке в «Philosophical Magazine» в том же, 1887 г.



В. А. Михельсон

Владимир Александрович Михельсон родился 30 июня 1860 г. в Тульчине Подольской губернии. По окончании в Москве частной гимназии в 1878 г. он поступает в Петербургский институт инженеров путей сообщения. Однако он скоро понял, что его призванием является физика, и перешел в Московский университет. А. Г. Столетов замечает способности

Михельсона и по окончании университета в 1883 г. оставляет его для подготовки к профессорскому званию. В 1887 г. Михельсон отправляется за границу, где в лаборатории Гельмгольца работает над магистерской диссертацией «О нормальной скорости воспламенения гремучих газовых смесей». Диссертация получила высокую оценку, и по предложению Столетова совет физико-математического факультета присудил Михельсону докторскую степень, минуя магистерскую.

Михельсон был избран профессором кафедры физики и метеорологии Московского сельскохозяйственного института, бывшей Петровской сельскохозяйственной академии и будущей Тимирязевской сельскохозяйственной академии в Петровском-Разумовском. Михельсон развернул большую работу по организации метеорологических наблюдений в России и созданию при лаборатории метеорологической обсерватории По его проекту в Петровском-Разумовском была построена метеорологическая обсерватория, ныне носящая имя В. А. Михельсона. Сам Михельсон много и плодотворно занимался актинометрией.

После Октябрьской революции Михельсон активно сотрудничает с Советской властью. Одна из его статей, в которой он предсказывал наступление засухи, привлекла внимание В. И. Ленина и по его указанию была опубликована в «Известиях» 17 сентября 1920 г. под названием «Важное предостережение».

В. А. Михельсон умер 27 февраля 1927 г.

Возвращаясь к истории теплового излучения, следует отметить, что статье Михельсона предшествовали измерения, проведенные американским астрофизиком Самуэлем Ланглеем (1834–1906). Он опубликовал в 1886 г. свои исследования над инфракрасными лучами с помощью изобретенного им болометра и исследования по распределению энергии в солнечном спектре. Михельсон указывает, что результаты Лангеля делают актуальным теоретический анализ распределения энергии в непрерывном спектре.

Он подчеркивает, что «большая часть предлагаемых результатов должна быть рассматриваема лишь как первое, грубое приближение к действительности». Полученные им теоретические кривые «обладают всеми без исключения общими свойствами, какие указывает Ланглей, описывая свои экспериментальные кривые». Одним из важных свойств кривых Лангеля является наличие максимума, который смещается по мере повышения температуры в сторону коротких волн. Теория Михельсона дала следующее соотношение между абсолютной температурой θ и длиной волны λ_{\max}

$$3\theta \lambda_{\max}^2 = C,$$

или, если ввести более употребительное обозначение температуры:

$$\lambda_{\max}^2 T = \text{const.}$$

Михельсону не удалось дать точную формулировку закона смещения. Но его работа послужила началом пути, по которому пошел Вильгельм Вин (1864–1928), давший в 1893 г. точное выражение этого закона:

$$\lambda_{\max} T = \text{const.}$$

В том же, 1893 г. была представлена диссертация «Исследования по математической физике» Б. Б. Голицына, во второй части которой содержалась теория теплового излучения.

В ней Голицын впервые ввел понятие температуры излучения, которая в то время отождествлялась с температурой эфира и поэтому представлялась весьма спорной. «Мы не знаем, могут ли быть в свободном эфире нестройные движения, и потому уже не можем говорить о температуре эфира», – писали в своем критическом отзыве на диссертацию Голицына А. Г. Столетов и А. П. Соколов. Дальнейшее развитие теоретической физики доказало правоту Голицына, да и сам эфир был исключен из физической картины мира. За Голицыным осталась историческая заслуга введения в науку важного понятия температуры излучения. В его диссертации содержались также и другие результаты, предвосхищавшие выводы Вина и Рэля – Джинса. Однако резкий критический отзыв оппонентов Столетова и Соколова заставил Голицына взять диссертацию обратно.

Б. Б. Голицын



Борис Борисович Голицын родился 2 марта 1862 г. По происхождению он принадлежал к старому титулованному (князя Голицыны) дворянскому роду. Он воспитывался в Морском корпусе, который окончил в 1880 г. в чине гардемарина. С 1884 по 1886 г. он учился в Морской академии, по окончании которой пытался поступить в Петербургский университет. Серьезным препятствием к осуществлению этого намерения было отсутствие аттестата зрелости, и Голицын, подобно Лебедеву, уехал в Страсбург к Кундту. Здесь он встретился с П. Н. Лебедевым, знакомство с которым перешло в дружбу. В Страсбурге он защитил

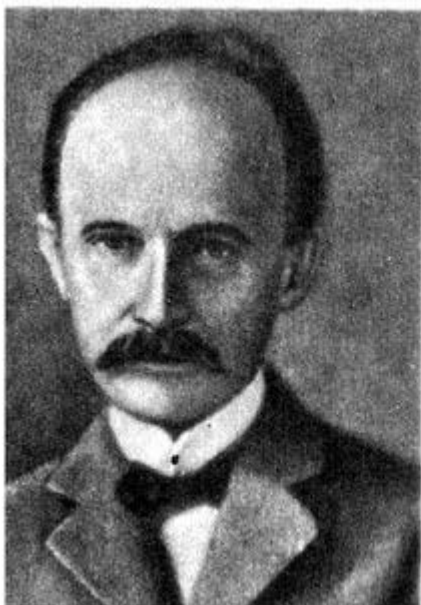
диссертацию «О законе Дальтона» на степень доктора философии. Возвратившись в Россию, он сдал в Петербургском университете магистерские экзамены и был направлен в Москву, где получил место приват-доцента университета. Представленная им магистерская диссертация «Исследования по математической физике» дослужила началом тяжелой истории в летописях русской науки. Совершенно неожиданно для многих неудачный диссертант был избран в Петербургскую Академию наук на место, которое было уже обещано Столетову. Для самого Столетова эта история обернулась трагически: ослабленный переживаниями, его организм не вынес простудного заболевания, и вскоре после «академического инцидента» Столетов умер.

Голицын, как академик, прославился своими исследованиями по сейсмологии и организации сейсмологических наблюдений. Ему принадлежат также важные исследования критического состояния, принципа Доплера – физико, где он совместно с И. И. Вилипом дал экспериментальное доказательство этого эффекта.

Умер Голицын 16 мая 1916 г.

Несмотря на существенные результаты, достигнутые в теории теплового излучения, вид универсальной функции распределения энергии излучения по длинам волн оставался неопределенным. Луммер (1860–1925) и Вин в 1895 г. построили модель абсолютно черного тела в виде замкнутой полости с малым отверстием. Через два года, в 1897 г., Луммер и

Прингсгейм (1859–1917), проводя опыты с абсолютно черным телом, построили экспериментальные кривые распределения энергии по длинам волн. В этом же году проблему излучения начал атаковать Планк.



М. Планк

Макс Планк родился 23 апреля 1858 г. в г. Киле в семье профессора юридического факультета Кильского университета Вильгельма Планка. Когда Максу было девять лет, семья переехала в Мюнхен. Планк учился сначала в Мюнхенском, а затем в Берлинском университете, где слушал лекции Кирхгофа, Гельмгольца, Вейерштрасса. Его заинтересовала термодинамика, особенно ее второй закон, и этот интерес остался у Планка на всю жизнь. Вернувшись в Мюнхен и сдав экзамен на право преподавания в высшем учебном заведении, Планк защитил в 1879 г. докторскую диссертацию «О втором законе механической теории тепла». Через год он защитил диссертацию «Равновесное состояние изотропных тел при различных температурах» на получение звания доцента.

Работая доцентом Мюнхенского университета, Планк начал составлять курс лекций по теоретической физике. Но до 1897 г. он не мог приступить к публикации своих лекций. В 1887 г. он написал конкурсное сочинение на премию философского факультета Геттингенского университета. За это сочинение Планк получил премию, а сама работа,

содержащая историко-методологический анализ закона сохранения энергии, переиздавалась пять раз, с 1887 по 1924 г. За это же время Планк опубликовал ряд работ по термодинамике физико-химических процессов. Особую известность получила созданная им теория химического равновесия разведенных растворов. В 1897 г. вышло первое издание его лекций по термодинамике. Эта классическая книга переиздавалась несколько раз (последнее издание вышло в 1922 г.) и переводилась на иностранные языки, в том числе и на русский. К тому времени Планк был уже ординарным профессором Берлинского университета и членом Прусской Академии наук. С 1897 г. Планк вплотную занялся проблемой теплового излучения.

Результатом исследований было открытие искомой функции распределения энергии по частотам, интерпретация которой потребовала от Планка введения гипотезы квантов энергии. В 1906 г. вышла классическая монография Планка «Лекции по теории теплового излучения». Она переиздавалась несколько раз. Русский перевод книги под названием «Теория теплового излучения» вышел в 1935 г. За открытие кванта действия в 1918 г. Макс Планку была присуждена Нобелевская премия по физике.

Дальнейший жизненный путь Планка связан с тяжелыми переживаниями. Во время первой мировой войны погиб под Верденом его сын, умерли две дочери. В 1945 г. за участие в антигитлеровском заговоре был казнен его старший сын. Во время войны его дом был разбомблен, собранная им в течение всей жизни библиотека погибла. Сам он во время поездки в Кассель был засыпан в бомбоубежище, где провел несколько часов, пока его не откапали. Умер Планк 4 октября 1947 г., прожив почти 90 лет. Он видел возвышение и поражение Германии, пережил франко-прусскую войну, первую и вторую мировые войны.

На его глазах происходили расцвет и крушение классической физики. При его жизни создавалась макс-велловская электродинамика, термодинамика, классическая статистика, электронная теория, теория относительности. Ему было сорок лет, когда супруги Кюри открыли радий, в сорок два года он сам открыл квант действия. Он был свидетелем развития квантовой механики, ядерной физики, а конец его жизни был озарен пожаром Хиросимы.

Об истории открытия закона излучения и возникновения гипотезы квантов Планк рассказывал неоднократно. Об этом он говорил в своей нобелевской речи «Возникновение и постепенное развитие теории квантов», произнесенной в Стокгольме 2 июля 1920 г. Об этом рассказывается и в изданной посмертно в 1948 г. «Научной автобиографии» Планка.

Как уже было сказано, Планк приступил к проблеме излучения в 1897 г. До этого наибольших успехов в решении этой задачи добился В. Вин. В 1893 г. он нашел формулу для объемной плотности невидимого излучения в виде функции

$$\rho(\nu, T) = \nu^3 f\left(\frac{\nu}{T}\right),$$

где f – функция, остающаяся неопределенной. Из этой формулы вытекал закон смещения $\lambda_{\max} T = \text{const}$.

В 1896 г. Вин пошел дальше и написал функцию в явном виде. Его закон имел вид:

$$\rho(\nu, T) = a \nu^3 e^{-\frac{b\nu}{T}}$$

Казалось бы, задача была решена. Но, во-первых, вывод Вина с теоретической точки зрения не был безупречным, и Рэлей писал в 1900 г., что «с теоретической стороны этот результат представляется мне немногим более, чем догадкой»; во-вторых, – и это главное – формула Вина хорошо оправдывалась в области высоких частот (коротких волн), но в измерениях с инфракрасными волнами, выполненными Рубенсом и Курльбаумом, «обнаружилось совершенно отличное от закона Вина поведение».

Во всяком случае Планк пошел своим путем. Он рассматривал модель черного тела,

представлявшую собой совокупность электромагнитных осцилляторов, излучающих и поглощающих электромагнитную энергию каждый определенной частоты. Введя гипотезу «естественного излучения», Планк привел эту систему в соответствие с необратимостью термодинамических процессов, несмотря на то что излучение описывается обратимыми уравнениями электродинамики. 15 мая 1899 г. Планку удалось найти соотношение между объемной плотностью излучения и средней энергией осциллятора:

$$\rho(\nu, T) = \frac{8 \pi \nu^2}{c^3} \bar{U}(T),$$

где $\bar{U}(T)$ – средняя энергия осциллятора.

Планк установил соотношение между энергией и энтропией осциллятора, в основе которого, по-видимому, лежит закон Вина. Но как раз в это время измерения Рубенса и Курльбаума показали неприменимость закона Вина для длинных волн, и это поставило Планка перед трудной проблемой. Планк построил из связи энтропии и энергии некоторую величину R , которая в области применимости закона Вина оказывается пропорциональной энергии. Однако в областях длинных волн следовало принять R пропорциональной квадрату энергии.

«Таким образом, – вспоминал Планк, – первыми опытами для функции R было установлено два простых предельных вида: при малых энергиях R пропорциональна энергии, а при больших энергиях – квадрату энергии... Дело теперь состояло в том, чтобы найти точное выражение для R , которое давало бы закон распределения энергии, совпадающий с экспериментально установленным. Теперь ничего другого не оставалось, как приравнять в общем случае величину R сумме двух членов – одного линейного, а другого квадратного по энергии, так что при малых энергиях решающее значение имел первый член, а при больших – второй.

При этом была найдена новая формула для излучения, которую я представил на заседании Берлинского физического общества 19 октября 1900 г. и рекомендовал проверить».

Формула, найденная Планком, имела вид:

$$\rho(\nu, T) = \frac{c_1 \nu^2}{e^{\frac{c_2 \nu}{T}} - 1}.$$

Рубенс немедленно после заседания начал сравнивать формулу Планка с данными его измерений. Утром он пришел к Планку и сообщил, что повсюду было найдено удовлетворительное совпадение его формулы с опытом. Но, как признавался Планк, метод нахождения формулы придавал ей «только формальный смысл удачно угаданного закона». И здесь Планк впервые обратился к статистике, к той самой статистике, с которой Михельсон начал поиски закона излучения, используя идеи Больцмана о связи энтропии и вероятности.

Этой зависимости Планк придал следующий вид:

$$S = k \ln W,$$

где k – постоянная Больцмана, хотя ввел и впервые вычислил эту величину Планк. Для того чтобы ввести вероятность в закон излучения, Планку пришлось принять гипотезу, что каждый осциллятор излучает и поглощает энергию конечными порциями. Эту порцию Планк положил пропорциональной частоте $\epsilon = h\nu$, где h – некоторая универсальная постоянная, которую Планк назвал «элементарным квантом действия». «Таким образом, – писал Планк, – и для излучения было установлено существование энтропии как меры вероятности в больцмановском смысле».

Однако при подсчете вероятности Планку пришлось отойти от метода Больцмана, и

только значительно позже выяснился смысл этого отхода: статистика квантов не является бoльцманов-ской. 14 декабря 1900 г. Планк доложил Берлинскому физическому обществу о своей гипотезе и новой формуле излучения

$$\rho(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

Из этой формулы, справедливой во всех областях спектра, получались и закон Стефана – Больцмана и закон смещения Вина. Для больших частот она переходила в формулу Вина, а для малых частот – в формулу:

$$\rho(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT,$$

данную Рэлеем в июле 1900 г. в небольшой статье «Замечания о законе черного излучения». Рэлей вывел эту формулу, применяя закон равномерного распределения энергии по степеням свободы.

В 1905 г. он и независимо от него Джинс показали, что классическая статистика приводит не к формуле Планка, а именно к формуле Рэля, которая стала называться с тех пор законом Рэля – Джинса.

История закона излучения продолжалась еще и в XX в. Сам Планк как-то пытался ввести свою гипотезу в русло классических представлений. Однако это ему не удалось.

Гипотеза квантов захватывала все новые и новые области, став «царицей» современной физики.

Открытие рентгеновских лучей, радиоактивности, электрона, радия, кванта действия определило характер развития физики XX в. Начиналась научная революция.

Глава четвёртая. Первый этап революции в физике

Открытие радиоактивных превращений. Идея атомной энергии

Открытия конца XIX в. и первого пятилетия XX в. привели к революции в физическом миропонимании. Рухнуло представление о неизменных атомах, о массе как неизменном количестве вещества, о законах Ньютона как незыблемых устоях физической картины мира, об абсолютных пространстве и времени, в непрерывных процессах была обнаружена дискретность, прерывность.

Представление о неизменных, неразрушимых атомах, существовавшее в физике и философии со времен Демокрита, было разрушено открытием радиоактивности. Уже в самом начале исследований радиоактивности Мария Склодовская-Кюри писала: «Радиоактивность урановых и ториевых соединений представляется атомным, свойствами... Я исследовала с этой точки зрения урановые и ториевые соединения и произвела множество измерений их активности при различных условиях. Из совокупности этих измерений выходит, что радиоактивность этих соединений действительно есть атомное свойство. Она представляется здесь связанной с наличием атомов обоих рассматриваемых элементов и не уничтожается ни переменой физического состояния, ни химическими преобразованиями».

Таким образом, оказалось, что атомы урана, тория и позднее открытых полония и радия не являются мертвыми кирпичиками, а обладают активностью, испускают лучи. Природа этих лучей была исследована рядом ученых, но первым обнаружил сложный состав радиоактивных лучей Резерфорд. В опубликованной в 1899 г. статье «Излучение урана и вызываемая им электропроводность» он показал электрическим методом, что излучение

урана имеет сложный состав.

Одну из пластин конденсатора покрывали порошком солей урана и соединяли с полюсом батареи, вторую соединяли с квадрантом квадрантного электромметра, другую пару квадрантов которого подключали к заземленному полюсу батареи. Измеряли скорость разряда, обусловленного ионизирующим действием урановых лучей. Порошок накрывали тонкими листами металлической фольги. «Эти опыты, – писал Резерфорд, – показывают, что излучение урана неоднородно по составу, – в нем присутствуют по крайней мере два излучения различного типа. Одно очень сильно поглощается, назовем его для удобства α -излучением, а другое имеет большую проникающую способность, назовем его β -излучением».

Во время исследований Резерфорд узнал о работе Шмидта, открывшего радиоактивность тория (об аналогичном открытии Склодовской-Кюри он, по-видимому, не знал). Он исследовал излучения тория и обнаружил, что α -излучение тория обладает большей проникающей способностью, чем α -излучение урана. Он также констатировал, что излучение тория «неоднородно по составу, в нем присутствуют какие-то лучи большой проникающей способности». Однако точного анализа ториевого излучения Резерфорд не проводил. В 1900 г. Вилар открыл сильно проникающее слабое излучение. Лучи Вилара стали называться γ -лучами.

Оказалось, что α -, β -, γ - лучи отличаются не только проникающей способностью. Беккерель в 1900 г. показал, что β -лучи отклоняются магнитным полем в ту же сторону, что и катодные лучи. Этот результат получили супруги Кюри, Мейер, Швейдлер и другие. Эти опыты показали, как писал Резерфорд в 1902 г., что «отклоняемые лучи во всех отношениях подобны катодным лучам». Резерфорд прямо говорит о β - лучах как об электронах. Проводя опыты именно с β - лучами, В. Кауфман в 1901 г. обнаружил зависимость массы от скорости.

В феврале 1903 г. Резерфорд показал, что и «неотклоняемые» α -лучи на самом деле «отклоняются в сильном магнитном и электрическом полях. Эти лучи отклоняются в противоположную по сравнению с катодными лучами сторону и, следовательно, должны состоять из положительно заряженных частиц, движущихся с большой скоростью».

В 1903 г. в своей докторской диссертации «Исследования о радиоактивных веществах» М. Склодовская-Кюри дала схему структуры радиоактивного излучения по отклонению их в магнитном поле, вошедшую с тех пор во все учебники.

Вскоре после открытия полония и радия супруги Кюри установили, «что лучи, испускаемые этими веществами, действуя на неактивные вещества, способны сообщить им радиоактивность и что эта наведенная радиоактивность сохраняется в течение достаточно длительного времени».

Затем Резерфорд, изучая радиоактивность соединений тория, писал, что эти соединения, кроме обычных радиоактивных лучей, «непрерывно испускают какие-то радиоактивные частицы, сохраняющие радиоактивные свойства в течение нескольких минут». Резерфорд назвал эти частицы «эманацией». «По своим фотографическим и электрическим действиям эманация похожа на уран. Она способна ионизировать окружающий газ и действует в темноте на фотопластинку при экспозиции в несколько дней». Резерфорд на опытах с соединениями тория подтвердил их свойство возбуждать «в любом твердом веществе, расположенном рядом с ним, радиоактивность, которая со временем исчезает», т. е. ту наведенную радиоактивность, которую Кюри наблюдала за год до этого. Он показал далее, что между эманацией тория и возбужденной радиоактивностью существует тесная связь. «Эманация, – писал Резерфорд, – в некотором смысле есть непосредственная причина возбуждения радиоактивности». Резерфорд не обнаружил испускания эманации имевшимся в его распоряжении образцом «не совсем чистого радия». Однако Дорн позднее использовал более чистый образец радия и показал, что радий обладает такой же способностью испускать эманацию, как и торий.

«По мнению Резерфорда, – писала в своей диссертации Склодовская-Кюри, – эманация радиоактивного тела представляет собой материальный, радиоактивный газ,

выделяющийся из этого тела». В 1902 г. Резерфорд и Содди выступили с первой статьей «Причина и природа радиоактивности». Исследуя способность соединений тория испускать эманацию, они химическими способами выделили из гидроокиси тория активный компонент, «обладающий специфическими химическими свойствами и активностью, по меньшей мере в 1000 раз большей активности вещества, из которого он был выделен».

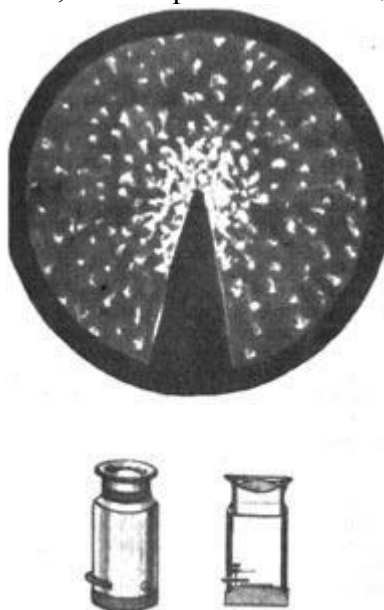


Рис. 60. Спинтарископ Крукса

Сославшись на пример Крукса, выделившего в 1900 г. из урана активный компонент, названный Круксом UX, Резерфорд и Содди назвали выделенный ими из тория компонент ThX. В результате тщательных исследований они пришли к выводу: «Радиоактивность тория в любой момент есть радиоактивность двух противоположных процессов:

- 1) образования с постоянной скоростью соединением тория нового активного вещества;
- 2) уменьшения со временем излучающей способности активного вещества.

Нормальная или постоянная радиоактивность тория есть равновесное состояние, при котором скорость роста радиоактивности, обусловленная образованием нового активного вещества, уравновешивается скоростью уменьшения радиоактивности уже образовавшегося вещества».

Отсюда следует кардинальный вывод, который Резерфорд и Содди формулируют так: «...радиоактивность есть атомное явление, одновременно сопровождаемое химическими изменениями, в результате которых появляются новые типы вещества, причем эти изменения должны протекать внутри атома, а радиоактивные элементы должны испытывать спонтанные превращения».



Ф. Содди

Первая статья Резерфорда и Содди появилась в сентябрьском номере «Philosophical Magazine». В ноябрьском номере появилась вторая статья. Описав эксперимент по измерению эманационной способности, Резерфорд и Содди писали далее: «Было приведено достаточно данных, чтобы ясно показать, что как в радиоактивности тория, так и радия проявляются сложнейшие превращения, каждое из которых сопровождается непрерывным образованием особого вида активного вещества». Образующаяся из радия и тория эманация является инертным газом. Ученые обращают внимание на связь радиоактивности с гелием, который, возможно, является конечным продуктом распада.

В апреле и мае 1903 г. появились новые работы Резерфорда и Содди – «Сравнительное изучение радиоактивности радия и тория» и «Радиоактивное превращение». Теперь они уже со всей определенностью утверждают, что «все изучавшиеся случаи радиоактивного превращения сводятся к образованию одного вещества из другого (если не учитывать испускаемые лучи). Когда происходит несколько превращений, то они происходят не одновременно, а последовательно».

Далее Резерфорд и Содди формулируют закон радиоактивного превращения: «Во всех случаях, когда отделяли один из радиоактивных продуктов и исследовали его активность независимо от радиоактивности вещества, из которого он образовался, было обнаружено, что активность при всех исследованиях уменьшается со временем по закону геометрической прогрессии».

Отсюда следует, что «скорость превращения все время пропорциональна количеству систем, еще не подвергнувшихся превращению»:

$$dN/dt = -\lambda Nt$$

Другими словами: «Относительное количество радиоактивного вещества, превращающегося в единицу времени, есть величина постоянная». Эту постоянную Резерфорд и Содди назвали радиоактивной постоянной, а теперь ее называют постоянной распада.

Из своего открытия Резерфорд и Содди делают важные выводы о существовании новых радиоактивных элементов, которые могут быть опознаны по их радиоактивности, даже если они имеются в ничтожно малых количествах.

Предвидение Резерфорда и Содди блестяще оправдалось, а методы радиохимии, созданные супругами Кюри, Резерфордом и Содди, стали мощным орудием в открытии новых элементов, позволившим отождествить новый, 101-й элемент–менделеевий – в количестве всего 17 атомов.

В своей классической работе Резерфорд и Содди коснулись фундаментального вопроса об энергии радиоактивных превращений. Подсчитывая энергию испускаемых радиом α -частиц, они приходят к выводу, что «энергия радиоактивных превращений, по крайней мере, в 20 000 раз, а может, и в миллион раз превышает энергию любого молекулярного превращения». При этом данные оценки энергии касаются лишь энергии излучения, а не полной энергии радиоактивного превращения, которая, в свою очередь, может составлять лишь часть внутренней энергии атома, так как внутренняя энергия образующихся продуктов остается неизвестной.

Резерфорд и Содди считают, что «энергия, скрытая в атоме, во много раз больше энергии, освобождающейся при обычном химическом превращении». Эта огромная энергия, по их мнению, должна учитываться «при объяснении явлений космической физики». В частности, постоянство солнечной энергии можно объяснить тем, «что на Солнце идут процессы субатомного превращения».

Вновь поражаешься прозорливости авторов, увидевших еще в 1903 г. космическую роль ядерной энергии. 1903 г. стал годом открытия этой новой формы энергии, о которой с такой определенностью высказывались Резерфорд и Содди, назвав ее внутриатомной энергией.

В том же году в Париже Пьер Кюри со своим сотрудником Лабордом измерил теплоту, самопроизвольно выделяемую солями радия. Он установил: «1 грамм радия выделяет количество теплоты порядка 100 малых калорий за один час». «Непрерывное выделение такого количества тепла, – писал Кюри, – не может быть объяснено обычным химическим превращением. Если искать причину образования тепла в каких-то внутренних превращениях, то эти превращения должны быть более сложной природы и должны быть вызваны какими-то изменениями самого атома радия».

Правда, Кюри допускал возможность и какого-то другого механизма выделения энергии. Мария Склодовская-Кюри предполагала, что радиоактивные элементы берут энергию из внешнего пространства. Оно «постоянно пронизывается некоторыми неизвестными еще радиациями, которые при встрече с радиоактивными телами задерживаются и преобразуются в радиоактивную энергию». Но эта гипотеза, высказанная ею в 1900 г., замечательная содержащейся в ней идеей космического излучения, была оставлена, и в 1903 г. Кюри признала: «Новейшие исследования благоприятствуют гипотезе атомных превращений радия».

1903 г. следует считать в истории радиоактивности красной датой. Это год открытия закона радиоактивных превращений и нового вида энергии – атомной энергии, проявляющейся в этих превращениях. Это год рождения первого прибора, позволяющего «видеть» отдельные атомы, – спинтарископа Крукса. «Существенная часть этого прибора, – писала Мария Склодовская-Кюри, – зернышко радиевой соли, укрепленное на конце металлической проволоки перед экраном из фосфоресцирующего цинка. Расстояние от радия до экрана очень мало (примерно 1/2 мм). В лупу наблюдают обращенную к радию сторону экрана. Глаз видит здесь настоящий дождь светящихся точек, которые постоянно вспыхивают и вновь исчезают; экран имеет вид как бы звездного неба».

Высказав гипотезу, что каждая вспышка экрана обусловлена ударом в него α -частицы, Кюри пишет, что в таком случае «здесь мы в первый раз имели бы перед собой явление, позволяющее различать индивидуальное действие частицы, имеющей атомные размеры».

Так оно и оказалось.

Наконец, 25 июня 1903 г. Мария Склодовская-Кюри защищает свою докторскую диссертацию, из которой мы взяли описание спинтарископа, и становится первой женщиной во Франции, получившей эту высокую ученую степень. Здесь мы вступили в область личных биографий и, поскольку это произошло, приведем краткую биографическую справку об одном из авторов закона радиоактивного распада – Фредерике Содди.

Фредерик Содди родился 2 сентября 1877 г. В 1896 г. он окончил университет в Оксфорде. Его имя вошло в историю науки с того времени, как он в 1900–1902 гг. работал

вместе с Резерфордом в Монреале, в Канаде, и пришел вместе с ним к теории радиоактивных превращений. В 1903–1904 гг. Содди работал с У. Рамзеем в Лондонском университете, и здесь в 1903 г. он вместе с Рамзеем доказал спектроскопическим путем, что из эманации радия получается гелий. С 1904 по 1914 г. Содди был профессором университета в Глазго. Здесь он независимо от фаянса открывает закон радиоактивного смещения (1913) и вводит понятие изотопов.

С 1914 по 1919 г. Содди – профессор Абердинского университета, с 1919 по 1936 г. он – профессор Оксфордского университета. В 1921 г. Содди получил Нобелевскую премию по химии.

Его перу принадлежит ряд книг по радиоактивности и радиохимии, некоторые из них переведены на русский язык: «Радий и его разгадка», «Материя и энергия», «Химия радиоэлементов», «Радий и строение атома».

Умер Содди 22 сентября 1956 г.

Содди был одним из первых адептов атомной энергии. В книге «Радий и его разгадка», русский перевод которой вышел в 1910 г, он ставит вопрос: обладают ли нерадиоактивные элементы запасом энергии? Он решает его в том смысле, что «этим внутренним запасом энергии, с которым мы впервые познакомились в связи с радием, в большей или меньшей степени обладают все элементы вообще и что он является неотъемлемой особенностью их внутреннего строения». При трансмутации (превращении) элементов происходит выделение энергии.

Содди ясно видел огромную трудность задачи освобождения внутриатомной энергии и недостаточность имевшихся тогда средств для ее решения, но опыт истории науки внушил ему уверенность в ее решении в будущем «Мы едва ли можем сомневаться в том, что когда-нибудь мы сможем разрушать и создавать элементы, как теперь мы разрушаем и создаем химические соединения; мировой пульс забьется тогда с новой силой, также неизмеримо превосходящей все силы, как эти последние, в свою очередь, превосходят естественные ресурсы дикаря»

Развитие квантовой теории Эйнштейном

Открытие радиоактивных превращений и возникновение представлений об огромных запасах внутриатомной энергии было одним из существенных моментов начавшейся революции в физике. Столь же существенным было возникновение теории относительности, новых представлений о пространстве, времени, массе, о связи массы и энергии. Гораздо менее заметными и очень медленно сказывающимися были и идеи Планка о квантах энергии. Сам создатель этой идеи, хотя и использовал свою формулу для определения таких атомных констант, как число Авогадро и заряд электрона, не слишком верил в кванты и полагал, что их как-то удастся ввести в русло представлений электромагнитной теории света.

Впервые обратил внимание на идею квантов и развил ее Альберт Эйнштейн в опубликованной в 1905 г. статье «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света». В самом начале статьи Эйнштейн подчеркивал противоположность представлений физики о структуре материи и структуре света. «Согласно теории Максвелла, – писал Эйнштейн, – во всех электромагнитных, а значит, и световых явлениях энергию следует считать величиной, непрерывно распределенной в пространстве, тогда как энергия весомого тела, по современным физическим представлениям, складывается из энергий атомов и электронов. Энергия весомого тела не может быть раздроблена на сколь угодно большое число произвольно малых частей, тогда как энергия пучка света, испущенного точечным источником, по максвелловской (или вообще по любой волновой) теории света, непрерывно распределяется по все возрастающему объему».

Однако Эйнштейн полагает, что «теория света, оперирующая непрерывными пространственными функциями, приведет к противоречию с опытом, когда ее будут

применять к явлениям возникновения и превращения света». По мнению Эйнштейна, явления «черного излучения», фотолуминесценции, фотоэффекта и другие, связанные с возникновением и превращением света, «лучше объясняются предположением, что энергия света распределяется по пространству дискретно».

Согласно сделанному им в этой статье предположению «энергия пучка света, вышедшего из каждой точки, не распределяется непрерывно во все возрастающем объеме, а складывается из конечного числа локализованных в пространстве неделимых квантов энергии, поглощаемых или возникающих только целиком».

Так Эйнштейн вернулся к ньютоновским представлениям о неделимых световых частицах, «поглощаемых или возникающих только целиком».

Но это возвращение произошло на новом, высшем уровне, когда оптика прочно усвоила волновые представления и не собиралась, да и не могла от них отказаться. В. И. Ленин сравнивал развитие науки с движением по спирали. Эйнштейн начал в теории света новый виток спирали.

Эйнштейн начинает с рассмотрения одной трудности в теории излучения черного тела. Если представить, что электромагнитные осцилляторы, которыми являются молекулы тела, подчиняются законам классической статистики Максвелла – Больцмана, то каждый такой осциллятор в среднем будет обладать энергией:

$$\bar{E} = \frac{R}{N} T,$$

где R – постоянная Клапейрона, N – число Авогадро. Используя соотношение Планка между средней энергией осциллятора и объемной плотностью энергии, находящейся с ним в равновесном излучении:

$$\bar{E}_\nu = \frac{L^3}{8\pi\nu^2} \rho_\nu,$$

где E_ν – средняя энергия осциллятора частоты ν , L – скорость света, ρ – объемная плотность энергии излучения, Эйнштейн пишет равенство:

$$\frac{R}{N} T = \frac{L^3}{8\pi\nu^2} \rho_\nu.$$

Из него он находит объемную плотность энергии:

$$\rho_\nu = \frac{R}{N} \frac{8\pi\nu^2}{L^3} T.$$

«Это соотношение, – пишет Эйнштейн, – найденное при условии динамического равновесия, не только противоречит опыту, но и утверждает, что в нашей картине не может быть и речи о каком-либо однозначном распределении энергии между эфиром и веществом».

В самом деле, суммарная энергия излучения оказывается бесконечной:

$$\int_0^\infty \rho_\nu dV = \frac{R}{N} \frac{8\pi}{L^3} T \int_0^\infty \nu^2 dV = \infty.$$

К аналогичному выводу в том же, 1905 г. пришли независимо друг от друга Рэлей и Джинс. Классическая статистика приводит к закону излучения, резко противоположному опыту. Эта трудность получила название «ультрафиолетовая катастрофа».

Эйнштейн указывает, что формула Планка:

$$\rho_{\nu} = \frac{\alpha \nu^3}{e^{\frac{\beta \nu}{T}} - 1}$$

$$\alpha = 6 \cdot 10^{-56}, \quad \beta = 4,866 \cdot 10^{-11},$$

переходит для больших длин волн и больших плотностей излучения в найденную им формулу:

$$\rho_{\nu} = \frac{\alpha}{\beta} \nu^2 T,$$

ЕСЛИ ПОЛОЖИТЬ:

$$\frac{R}{N} \frac{8\pi}{L^3} = \frac{\alpha}{\beta},$$

откуда:

$$N = \frac{\beta}{\alpha} \frac{8\pi R}{L^3} = 6,17 \cdot 10^{23}$$

Эйнштейн подчеркивает, что значение числа Авогадро совпадает со значением, найденным другим способом. Обращаясь далее к закону Вина, хорошо оправдывающегося для больших значений ν/T , Эйнштейн получает выражение энтропии излучения:

$$S - S_0 = \frac{E}{\beta \nu} \ln \left(\frac{V}{V_0} \right).$$

«Это равенство показывает, что энтропия монохроматического излучения достаточно малой плотности зависит от объема так же, как энтропия идеального газа или разбавленного раствора».

Переписав это выражение в виде:

$$S - S_0 = \frac{R}{N} \ln \left[\left(\frac{V}{V_0} \right)^{\frac{N}{R} \frac{E}{\beta \nu}} \right]$$

и сравнивая его с законом Больцмана:

$$S - S_0 = (R/N) \ln W,$$

Эйнштейн находит выражение вероятности того, что энергия излучения в объеме V_0 сосредоточится в части объема V :

$$W = \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\frac{N}{R} \frac{E}{\beta v}}$$

Эйнштейн интерпретирует эту формулу следующим образом: «Монохроматическое излучение малой плотности (в пределах области применимости закона излучения Вина) в смысле теории теплоты ведет себя так, как будто оно состоит из независимых друг от друга квантов энергии величиной $R\beta v/N$ ». Заметим, что величина β в современных обозначениях равна $\beta=h/k$, где $k = R/N$, и, таким образом, энергия кванта $(R\beta v/N)=hv$

Эйнштейн применяет свою теорию к явлению люминесценции и не только дает объяснение правилу Стокса, согласно которому частота люминесценции ν_2 меньше или равна частоте возбуждающего излучения ν_1 ($\nu_2 < \nu_1$), но и указывает на возможные причины отступления от него.

Особенно важное значение имеет объяснение Эйнштейном фотоэффекта. Квант энергии света, поглощаясь электроном, сообщает ему кинетическую энергию $(R/N) \beta v - P$, где P - работа выхода электрона. При наличии задерживающего потенциала Y , препятствующего электрону покинуть освещаемую поверхность, выполняется равенство:

$$\Pi = (R/N) \beta v - P.$$

Такова знаменитая теория фотоэффекта, давшая простое и непринужденное объяснение этого явления, оставшегося загадкой для волновой теории.

Наблюдения, сделанные Ленардом в 1902 г., как указывал Эйнштейн в своей статье, не противоречили его теории. В самом деле, скорости фотоэлектронов не зависели от интенсивности световых лучей, а число их было пропорционально интенсивности. Что же касается зависимости энергии фотоэлектронов от частоты, то она была исследована лишь в 1912 г. Ричардсоном, Комптоном и в 1916 г. Милликеном. Последние классические эксперименты наряду с измерениями Милликеном элементарного заряда были удостоены Нобелевской премии.

К идее квантов Эйнштейна привел закон Вина, справедливый в области коротких волн. Ему казалось, как он писал год спустя, что «теория излучения Планка в известном смысле противостоит моей работе». Однако тщательный анализ закона Планка привел Эйнштейна к выводу, что формула Планка основана на гипотезе квантов. Этот вывод составляет содержание работы Эйнштейна 1906 г. «К теории возникновения и поглощения света». Здесь Эйнштейн показал, что в основе теории Планка лежит следующее утверждение: «Энергия элементарного резонатора может принимать только целочисленные значения, кратные величине $(R/N) \beta v$, энергия резонатора при поглощении и испускании меняется скачком, а именно на целочисленное значение, кратное величине $(R/N) \beta v$ ».

Эйнштейн увидел кванты впервые именно там, где квантовая природа света выражена особенно отчетливо: в явлении фотоэффекта. Квантовый характер излучения для него был очевиден только в коротковолновой области спектра, в области применимости закона Вина.

Лишь через год он понял, что кванты являются фундаментом закона Планка. Каприз исторического развития науки выразился в том, что кванты появились в физике там, где их труднее всего было увидеть, – в законе черного излучения. Эйнштейн шел к квантовой теории естественным путем и сразу понял необходимость введения квантовых представлений в теорию света. Для него сомнений Планка и других физиков, считавших гипотезу квантов временной, не существовало. Он ясно видел, что возникновение и поглощение света описывается квантовыми законами.

В работе 1906 г. Эйнштейн устанавливает количественные соотношения между рядом напряжений Вольта и пороговой частотой фотоэффекта. Это соотношение выражается формулой:

$$U=(R/A) \beta v$$

и для контактной разности потенциалов двух металлов, выраженной в вольтах, Эйнштейн получает следующее значение:

$$U_{12} = 4,2 \cdot 10^{15} (v_2 - v_1).$$

«В этой формуле, – пишет Эйнштейн, – содержится следующее, по крайней мере в общем и целом, справедливое утверждение: чем более электроположительным является металл, тем меньше низшая частота света, вызывающая фотоэффект».

В следующем, 1907 г. Эйнштейн применил идею квантов к теории теплоемкости. Теорема равномерного распределения энергии по степеням свободы в теории теплоемкости твердого тела приводит к закону Дюлонга и Пти, который Эйнштейн записывает в виде $c = 3Rn$, или $c = 5,94n$, где n – число атомов в молекуле. Эта формула не дает зависимости теплоемкости от температуры и не дает правильного значения теплоемкости для углерода (алмаза), бора и кремния. Эйнштейн, предположив, что молекула твердого тела является квантовым осциллятором со средней энергией

$$\vec{E} = \frac{3R}{N} \frac{\beta v}{e^{\frac{\beta v}{T}} - 1},$$

получил для удельной теплоемкости грамм-эквивалента выражение:

$$C = 5,94 \sum \frac{e^{\frac{\beta v}{T}} \cdot \left(\frac{\beta v}{T}\right)^2}{\left(e^{\frac{\beta v}{T}} - 1\right)^2}.$$

Таким образом, теплоемкость является функцией температуры. Она удовлетворяет закону Дюлонга и Пти только при комнатной температуре, при приближении к абсолютному нулю теплоемкость падает.

Этот вывод был экспериментально подтвержден работами Нернста и его учеников, в результате которых Нернст пришел к своему тепловому закону, названному третьим началом термодинамики. Вместе с тем оказалось, что основная предпосылка Эйнштейна о монохроматичности колебаний осциллятора неверна, и сам Эйнштейн, а также Дебай, Борн и Карман уточнили квантовую теорию теплоемкости. Но основное положение работы Эйнштейна, что энергия элементарного образования может принимать только значения $0, (R/N)\beta v, 2(R/N)\beta v$ и т. д., т. е. энергия квантуется, осталось незыблемым. Эйнштейну принадлежит заслуга расширения идеи квантов на новые области, что показало ее фундаментальное значение в физике. В этом заключалась вторая важная черта научной революции в физическом миропонимании, не сразу принятая и осознанная физиками.

Ленинский анализ 'Новейшей революции в естествознании'

В 1909 г. вышла книга В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» В. И. Ленин не был физиком и, написав эту книгу, выполнил важную партийную, политическую задачу, разоблачив антимарксистские взгляды, бытовавшие в годы реакции среди части русских социал-демократов. Непосредственным поводом к написанию работы послужил выход книги «Очерки по философии марксизма», составленной из статей В. А. Базарова, А. В. Луначарского, А. А. Богданова и других авторов, называвших себя марксистами. На самом

деле в книге излагалась не философия марксизма, а философия Маха, Авенариуса и других эмпириокритиков и эмпирионистов.

По свидетельству Маха, еще в 1863– 1871 гг. он пришел к выводу, «что цель физических исследований заключается в установлении зависимости наших чувственных переживаний друг от друга, а понятия и теории физики суть лишь средства для достижения этой цели, – средства временные, которыми мы пользуемся лишь в видах экономии мышления (некоторые же физические понятия могут быть признаны даже аналогом к иллюзорной вещи в себе)».

В. И. Ленин поставил задачу разоблачить антимарксистский, антиматериалистический характер выступлений русских махистов, эмпириокритиков. Он охарактеризовал эти выступления как «типичный философский ревизионизм» и поставил своей задачей «разыскать, на чем свихнулись люди, преподносящие под видом марксизма нечто невероятно сбивчивое, путаное и реакционное».(*Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Поли. собр. соч., т. 18, с. 11.*)

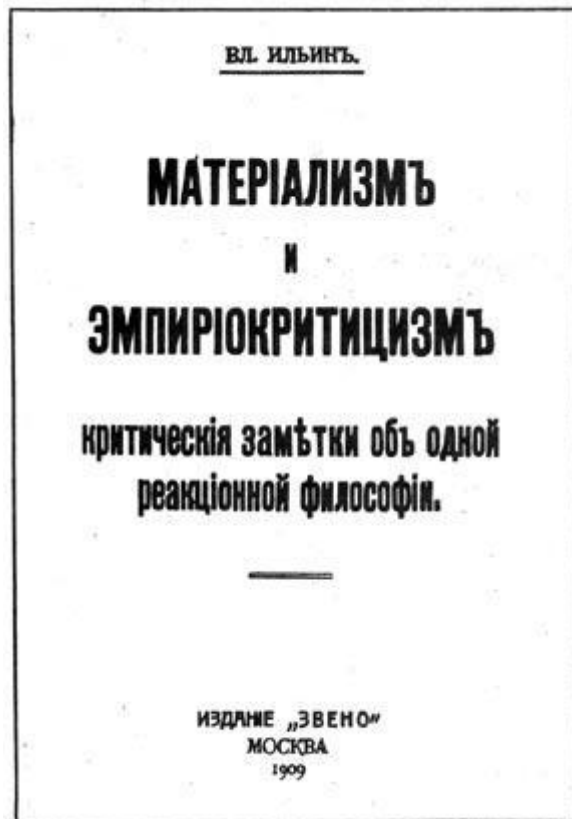
Решая эту задачу, В. И. Ленин глубоко проанализировал не только теорию познания Маха, Авенариуса и русских эпигонов махизма, но и «новейшую революцию в естествознании», посвятив ей пятую главу своего труда. Он выполнил колоссальную работу, которую не мог выполнить ни один из его современников – естествоиспытателей или философов (напомним, что Плеханов в своих выступлениях против махистов обошел полным молчанием революцию в физике).

В. И. Ленин, цитируя различных авторов, в том числе и Анри Пуанкаре («Ценность науки», 1905), отмечает важнейшие революционные открытия в области физики: X-лучи, лучи Беккереля, радий, электронную теорию, электромагнитную массу, нарушение принципов механики Ньютона и т. д.

Заметим, что В. И. Ленин не упоминает ни теории относительности, ни теории квантов. Это вполне естественно. Во время работы В. И. Ленина над «Материализмом и эмпириокритицизмом» эти новые области физики печатались только на страницах специальных журналов, для них не было даже соответствующих рубрик в реферативных журналах. В обзорных работах, в популярных книгах господствовал еще эфир и как последнее достижение физики освещалась электромагнитная теория света Максвелла.

Характерна в этом отношении книга Люсьена Пуанкаре (1862-1920), вышедшая в 1906 г., которой также пользовался В. И. Ленин в работе над своим произведением. Книга называлась «Эволюция современной физики». В 1910 г. она вышла в русском переводе.

Самая последняя научная новость, о которой сообщалось в книге, – это гипотеза радиоактивного распада Резер-форда – Содди и вопрос о внутриатомной энергии.



Титульный лист первого издания книги Ленина 'Материализм и эмпириокритицизм'

Книга Л. Пуанкаре дает представление об умонастроениях физиков 1905 г., в момент перехода от механической картины мира к электромагнитной. Имена Лоренца, Лармора, Ланжевена фигурируют на заключительных страницах книги. К ним прибавляются имена Рентгена, Беккереля, супругов Кюри, Резерфорда, но имена Планка и Эйнштейна не встречаются в книге. В книге В. И. Ленина встречаются те же имена, за исключением супругов Кюри и Резерфорда. Говоря об электромагнитном понимании материи, он ссылается на книгу О. Лоджа «Об электронах» (1906), А. Риги «О строении материи» (1908), Д. Д. Томсона «Корпускулярная теория материи» (1907), статью П. Ланжевена «физика электронов» (1905). Ни в одной из этих работ не упоминаются Планк и Эйнштейн. Естественно, что и В.И. Ленин не упоминает этих имен, хотя, как мы увидим далее, он прекрасно понял релятивистский характер новой физики.

Оценивая ситуацию, сложившуюся в физике в результате новых открытий, В. И. Ленин обращает внимание на высказывание А. Пуанкаре о наличии «серьезного кризиса» в физике, вызванного электронной теорией материи, и прежде всего исчезновением «реальной или механической массы электрона», которая оказывается полностью электромагнитной.

«Исчезает масса. Подрываются основы механики». (Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Полн. собр. соч., т. 18, с. 267.)

В. И. Ленин приводит далее высказывание А. Рея (1873–1940), который противопоставляет единомышленников первых двух третей XIX в., считавших, что «физика есть лишь более сложная механика», разброду в современной физике, когда «у каждого ученого свои особые тенденции» и физика как наука «имеет многочисленные школы, выводы которых зачастую расходятся, а иногда прямо враждебны один другому...». (Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Полн. собр. соч., т. 18, с. 267.)

В. И. Ленин, рассматривая далее высказывание Рея, уточняет философскую сущность в воззрениях физиков: «Материалистическая теория познания, стихийно принимавшаяся прежней физикой, сменилась идеалистической и агностической, чем воспользовался фидеизм, вопреки желанию идеалистов и агностиков». (Ленин В. И. Материализм и

эмпириокритицизм. – Полн.собр. соч., т. 18, с. 267.)

Рей разделяет физиков по их идейным позициям на три школы: энергетическую, или концептуалистскую (Мах, Дюгем), механическую, или новомеханическую (Кирхгоф, Гельм-гольц, Томсон (лорд Кельвин), Максвелл из старых, Лармор, Лоренц из новых физиков) и промежуточную, критическую, школу (Анри Пуанкаре). В. И. Ленин критикует эту классификацию, он указывает на неточность терминологии Рея и показывает, что суть дела в замене материализма идеализмом.

«Суть кризиса современной физики состоит в ломке старых законов и основных принципов, в отбрасывании объективной реальности вне сознания, т. е. в замене материализма идеализмом и агностицизмом».(*Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Полн.собр. соч., т. 18, с. 267.)* Основной трудностью, породившей этот кризис, было «исчезновение материи». В. И. Ленин посвящает анализу этой проблемы отдельный раздел– «Материя исчезла». Результат этого анализа выражен им с классической ясностью: «Материя исчезает» – это значит исчезает тот предел, до которого мы знали материю до сих пор, наше знание идет глубже; исчезают такие свойства материи, которые казались раньше абсолютными, неизменными, первоначальными (непроницаемость, инерция, масса и т. п.) и которые теперь обнаруживаются, как относительные, присущие только некоторым состояниям материи. Ибо единственное «свойство» материи, с признанием которого связан философский материализм, есть свойство быть объективной реальностью, существовать вне нашего сознания».(*Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Полн.собр. соч., т. 18, с. 272.)*

Таково знаменитое ленинское объяснение проблемы «исчезновения материи».

Наши представления о мире, о материи развиваются, видоизменяются по мере развития наших знаний, но незыблемой остается сама объективная реальность – материя, существующая независимо от нашего сознания.

Говоря конкретно об изменении этих знаний, В. И. Ленин опирается на господствующую схему развития материи: эфир, первоатом, химический атом, молекула, частица, тело. Старое, ньютоновское: может быть, все вещи произошли из эфира – с особой силой зазвучало в начале XX в. у Д. Д. Томсона, А. Риги, Лармора, Лоренца, Лоджа.

В. И. Ленин не мог пройти мимо этого всеобщего убеждения. Он писал: «Как ни диковинно с точки зрения «здорового смысла» превращение невесомого эфира в весомую материю и обратно, как ни «странно» отсутствие у электрона всякой иной массы, кроме электромагнитной, как ни необычно ограничение механических законов движения одной только областью явлений природы и подчинение их более глубоким законам электромагнитных явлений и т. д., – все это только лишнее подтверждение диалектического материализма. Новая физика свихнулась в идеализм, главным образом, именно потому, что физики не знали диалектики».(*Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Полн. собр. соч., т. 18,)*

В. И. Ленин показывает, как и в чем «свихнулись» физики, которые не поняли, что обнаружившаяся несостоятельность метафизического, механического материализма вовсе не означает несостоятельность философского материализма. Крушение старых представлений о материи вовсе не означает исчезновения материи, радикальное изменение наших знаний вовсе не означает отсутствия объективной закономерности в природе. В. И. Ленин писал: «Неизменно, с точки зрения Энгельса, только одно: это – отражение человеческим сознанием (когда существует человеческое сознание) независимо от него существующего и развивающегося внешнего мира... «Сущность» вещей или «субстанция» тоже относительны; они выражают только углубление человеческого познания объектов, и если вчера это углубление не шло дальше атома, сегодня – дальше электрона и эфира, то диалектический материализм настаивает на временном, относительном, приблизительном характере всех этих вех познания природы прогрессирующей наукой человека. Электрон так же неисчерпаем, как и атом, природа бесконечна, но она бесконечно существует, и вот это-то единственно категорическое, единственно безусловное признание ее существования вне

сознания и ощущения человека и отличает диалектический материализм от релятивистского агностицизма и идеализма».(*Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Поли, собр. соч., т. 18, с. 277-278.*)

Поразительна сила философского мышления Ленина и его несокрушимый научный оптимизм! В эпоху всеобщей растерянности физиков перед лицом новых необычных фактов, в эпоху, когда физики с трудом осваивали переход от механической картины мира к электромагнитной, В. И. Ленин видит уже и эту электромагнитную картину только временным этапом прогрессирующего познания природы человеком. Только что открытый электрон, который, как казалось, является заменой неизменному, неделимому демокритов-скому атому, Ленин объявляет неисчерпаемым.

В своей последней статье, опубликованной посмертно, лауреат Нобелевской премии Сесил Фрэнк Пауэлл (1903–1969) писал: «Недавно я вспомнил поразительное замечание, сделанное Лениным в 1908 г. в книге «Материализм и эмпириокритицизм», когда электрон был единственной известной элементарной частицей. В то время, как весь научный мир считал, что существуют лишь неизменяемые частицы, Ленин сказал, что электрон неисчерпаем».

Итак, спустя 60 лет после выхода «Материализма и эмпириокритицизма» физик, открывший пи-мезоны и другие элементарные частицы, вспомнил «поразительное» утверждение В. И. Ленина о неисчерпаемости электрона, блестяще оправданное последующим развитием физики.

В. И. Ленин дал точную характеристику современной ему физики. Он писал: «Но как бы ни зарекались от материализма и Рей, и физики, про которых он говорит, а все же остается несомненным, что механика была снимком с медленных реальных движений, а новая физика есть снимок с гигантски быстрых реальных движений. Признание теории снимком, приблизительной копией с объективной реальности, – в этом и состоит материализм».(*Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Поли, собр. соч., т. 18, с. 280-281.*)

Из этих слов видно, что В. И. Ленин, не упоминая об Эйнштейне и, вероятно, еще не зная о теории относительности, очень точно отметил переход от классической механики, верной для малых скоростей, к релятивистской механике «гигантски быстрых движений».

Замечательно также высказывание В. И. Ленина о диалектическом характере новой физики, приведенное им в разделе «Два направления в современной физике и английский спиритуализм». Полемизируя с английским спиритуалистом Уордом, В. И. Ленин писал: «Разрушимость атома, неисчерпаемость его, изменчивость всех форм материи и ее движения всегда были опорой диалектического материализма. Все грани в природе условны, относительны, подвижны, выражают приближение нашего ума к познанию материи, – но это несколько не доказывает, чтобы природа, материя сама была символом, условным знаком, т. е. продуктом нашего ума. Электрон относится к атому, как точка в этой книге к объему здания в 30 сажен длины, 15 – ширины и 7и 1/2 – высоты (Лодж), он двигается с быстротой до 270 000 километров в секунду, его масса меняется с его быстротой, он делает 500 триллионов оборотов в секунду, – все это много мудренее старой механики, но все это есть движение материи в пространстве и во времени. Ум человеческий открыл много диковинного в природе и откроет еще больше, увеличивая тем свою власть над ней, но это не значит, чтобы природа была созданием нашего ума или абстрактного ума, т. е. уордовского бога, богдановской «подстановки» и т. п.».(*Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Поли, собр. соч., т. 18, с. 298.*)

В. И. Ленин увидел в проникновении физики в микромир, в мир разрушаемого атома торжество материалистической диалектики.

Он пророчески указывал, что это проникновение приведет к увеличению власти человека над природой, и открытие атомной энергии подтвердило его предвидение.

В. И. Ленин ставит вопрос: почему новая физика оказалась связанной с махизмом? Он утверждает, что эта связь заключается в том, что махисты в физике «рабски плетутся за

модой», не умея оценить новые тенденции, определить их место. В. И. Ленин разоблачает фальшь разглагольствований на тему, что «философия Маха есть «философия естествознания XX века», «новейшая философия естественных наук», «новейший естественнонаучный позитивизм» и т. п.» (*Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Полн. собр. соч., т. 18, с. 321.)*

Он указывает, что махизм связан только с одной школой – школой Пуанкаре, Дюгема, Пирсона – и что общим у всех представителей этой школы является философский идеализм. Он указывает, что этот уклон в сторону идеализма у одной школы естествознания «есть временный зигзаг, преходящий болезненный период в истории науки, болезнь роста, вызванная больше всего крутой ломкой старых установившихся понятий» (*Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Полн. собр. соч., т. 18, с. 321.)*

В. И. Ленин обращает внимание на высказывание Рея о математизации физики " «Кризис физики состоит в завоевании физики духом математики Прогресс физики, с одной стороны, и прогресс математики, с другой, привели в XIX веке к тесному сближению этих обеих наук...» (*Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Полн. собр. соч., т. 18, с. 321.)*

Отмечая это обстоятельство (В. И. Ленин приводит длинную выдержку из Рея о математизации физики), В. И. Ленин пишет: «Реакционные популяризаторы порождаются самим прогрессом науки. Крупный успех естествознания, приближение к таким однородным и простым элементам материи, законы движения которых допускают математическую обработку, порождает забвение материи математиками. «Материя исчезает», остаются одни уравнения» (*Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Полн. собр. соч., т. 18, с. 321.)*

Другой причиной «физического» идеализма В. И. Ленин считает «принцип релятивизма, относительности нашего знания, принцип, который с особенной силой навязывается физикам в период крутой ломки старых теорий и который – при незнании диалектики – неминуемо ведет к идеализму» (*Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Полн. собр. соч., т. 18, с. 327.)*

Подводя итоги своего анализа «новейшей революции в естествознании», В. И. Ленин писал: «Одним словом, сегодняшней «физический» идеализм точно так же, как вчерашний «физиологический» идеализм, означает только то, что одна школа естествоиспытателей в одной отрасли естествознания скатилась к реакционной философии, не сумев прямо и сразу подняться от метафизического материализма к диалектическому материализму. Этот шаг делает и сделает современная физика, но она идет к единственно верному методу и единственно верной философии естествознания не прямо, а зигзагами, не сознательно, а стихийно, не видя ясно своей «конечной цели», а приближаясь к ней ощупью, шатаясь, иногда даже задом» (*Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Полн. собр. соч., т. 18, с. 327.)*

В сложной противоречивой обстановке физики начала XX в. В. И. Ленин увидел главное: современная физика «рождает диалектический материализм». Теперь диалектический характер физической науки ясен даже противникам материалистической диалектики. В. И. Ленин, не будучи специалистом-физиком, сумел глубоко схватить философскую сущность новых открытий в физике, увидел рождение диалектики физикой тогда, когда одна школа естествоиспытателей увидела в них идеализм.

В.И.Ленин отмечает именно одну школу, подчеркивая тем самым, что основная масса физиков не сознательно, стихийно укрепляла фундамент материалистической диалектики. Гениальный труд В. И.Ленина помогает физикам и сегодня правильно ориентироваться в сложном мире, открываемом современной наукой.

Глава пятая. Атом Резерфорда-Бора

Модели атома до Бора

Развитие исследований радиоактивного излучения, с одной стороны, и квантовой теории – с другой, привели к созданию квантовой модели атома Резерфорда – Бора. Но созданию этой модели предшествовали попытки построить модель атома на основе представлений классической электродинамики и механики. В 1904 г. появились публикации о строении атома, принадлежащие одна японскому физику Хантаро Нагаока (1865–1950), другая – английскому физику Д. Д. Томсону.

Нагаока исходил из исследований Максвелла об устойчивости колец Сатурна и представил строение атома аналогичным строению солнечной системы: роль Солнца играет положительно заряженная центральная часть атома, вокруг которой по установленным кольцеобразным орбитам движутся «планеты»–электроны. При незначительных смещениях электроны возбуждают электромагнитные волны, периоды которых, по расчетам Нагаоки, того же порядка, что и частоты спектральных линий некоторых элементов.

В атоме Томсона положительное электричество «размазано» по сфере, в которую вкраплены, как изюм в пудинг, электроны. В простейшем атоме водорода электрон находится в центре положительно заряженной сферы. При смещении из центра на электрон действует квазиупругая сила электростатического притяжения, под действием которой электрон совершает колебания. Частота этих колебаний определяется радиусом сферы, зарядом и массой электрона, и если радиус сферы имеет порядок радиуса атома, частота этих колебаний совпадает с частотой колебания спектральной линии атома. В многоэлектронных атомах электроны располагаются по устойчивым конфигурациям, рассчитанным Томсоном. Томсон считал каждую такую конфигурацию определяющей химические свойства атомов. Он предпринял попытку теоретически объяснить периодическую систему элементов Д. И. Менделеева. Эту попытку Бор позднее назвал «знаменитой» и указал, что со времени этой попытки «идея о разделении электронов в атоме на группы сделалась исходным пунктом и более новых воззрений». Отметив, что теория Томсона оказалась несовместимой с опытными фактами, Бор тем не менее считал, что эта теория «содержит много оригинальных мыслей и оказала большое влияние на развитие атомной теории».

В. Вин



В 1905 г. В. Вин выступал с докладом об электронах на съезде немецких естествоиспытателей и врачей в Мюнхене. Здесь он, в частности, указывал на трудность объяснения линейчатых спектров атомов с точки зрения электронной теории. Он говорил: «Проще всего было бы понимать каждый атом как планетную систему, которая состоит из

положительно заряженного центра, вокруг которого обращаются электроны как планеты. Но такая система не может быть устойчивой вследствие излучаемой электронами энергии.

Поэтому мы вынуждены обратиться к системе, в которой электроны находятся в относительном покое или обладают ничтожными скоростями, хотя такое представление содержит много сомнительного».

Такой статической моделью был атом Кельвина – Томсона. И эта модель была общепринятой по причинам, указанным Винном.



Э. Резерфорд

Модель атома как планетной системы приходила в голову многим: о ней писал Л. Пуанкаре, о ней говорили и Вин, и Перрен, который в своем нобелевском докладе причислял себя к пионерам планетарной модели атома. Но эта модель наталкивалась на непреодолимую трудность, о которой говорил Вин, и поэтому уступила место модели Кельвина – Томсона.

Но вскоре оказалось, что новые опытные факты опровергают модель Томсона и, наоборот, свидетельствуют в пользу планетарной модели, факты эти были открыты Резерфордом.

Резерфорд. Эрнст Резерфорд родился 30 августа 1871 г. в семье новозеландского фермера. Окончив школу в Хавелоке, где в это время жила семья, он получил стипендию для продолжения образования в колледже провинции Нельсон, куда поступил в 1887 г. Через два года он сдал экзамен в Кен-терберийский колледж-филиал Новозеландского университета в Крайчестере. Резерфорд окончил колледж в 1893 г. с отличием и получил степень магистра по физике и математике. В это время Резерфорд занялся изучением магнитного действия электромагнитных волн. В 1894 г. в «Известиях философского института Новой Зеландии» появилась его первая печатная работа «Намагничивание железа высокочастотными разрядами». В 1895 г. оказалась вакантной стипендия для получения научного образования, первый кандидат на эту стипендию отказался по семейным обстоятельствам, вторым кандидатом был Резерфорд. Приехав в Англию, Резерфорд получил приглашение Д. Д. Томсона работать в Кембридже в лаборатории Кавендиша. Так начался научный путь Резерфорда.

Резерфорд, продолжая свою работу над магнитным детектором, вместе с тем заинтересовался исследованиями Томсона по электропроводности газов. В 1896 г. появляется совместная работа Томсона и Резерфорда «О прохождении электричества через газы, подвергнутые действию лучей Рентгена».

В 1897 г. выходит в свет заключительная статья Резерфорда «Магнитный детектор электрических волн и некоторые его применения». После этого он полностью сосредоточивает свои силы на исследовании газового разряда. В том же, 1897 г. появляется

его новая работа «Об электризации газов, подверженных действию рентгеновских лучей, и о поглощении рентгеновского излучения газами и парами».

Открытие радиоактивности определило научный путь Резерфорда. В 1898 г. он приступил к тщательному изучению свойств уранового излучения. Результатом этого явилась большая статья «Излучение урана и созданная им электропроводность». Она была опубликована в 1899 г., когда Резерфорд был профессором кафедры теоретической физики университета Мак-Гилла в Монреале (Канада), куда он прибыл в сентябре 1898 г.

В Монреале Резерфорд пробыл с 1898 по 1907 г. Здесь он сделал фундаментальные открытия: им была открыта эманация тория и разгадана природа так называемой «индуцированной радиоактивности»; совместно с Содди он открыл радиоактивный распад и его закон. Здесь им была написана книга «Радиоактивность». В Монреале он начал тщательное исследование природы α -частиц, закончившееся уже в Манчестере полной разгадкой их природы. Здесь же он начал свои исследования по прохождению α -частиц через вещество.



Рис. 62. Резерфорд в лаборатории в Канаде

Огромный размах научной работы Резерфорда в Монреале (им было опубликовано как лично, так и совместно с другими учеными 66 статей, не считая книги «Радиоактивность») принес Резерфорду славу первоклассного исследователя. Он получает приглашение занять кафедру в Манчестере. 24 мая 1907 г. Резерфорд вернулся в Европу. Начался новый период его жизни.

В Манчестере Резерфорд развернул кипучую деятельность, привлекая молодых ученых из разных стран мира. Одним из его деятельных сотрудников был немецкий физик Ганс Гейгер (1882–1945), создатель первого счетчика элементарных частиц – счетчика Гейгера. В Манчестере с Резерфордом работали Э. Марсден, К. фаянс, Г. Мо-зли, Г. Хевеши и другие физики и химики.

В Манчестер в 1912 г. приехал Нильс Бор, который позже вспоминал об этом периоде: «В это время вокруг Резерфорда группировалось большое число молодых физиков из разных стран мира, привлеченных его чрезвычайной одаренностью как физика и редкими способностями как организатора научного коллектива».

В этой атмосфере коллективного научного творчества родились крупные научные достижения Резерфорда, из которых в первую очередь следует отметить разгадку природы α -частиц и открытие ядерного строения атома.

Сюда же следует присоединить и знаменитые статьи Бора по квантовой теории планетарного атома. В Манчестере было положено начало квантовой и ядерной физике. В

1908 г. Резерфорду была присуждена Нобелевская премия по химии.

Плодотворная работа резерфордовской группы в Манчестере была прервана войной. Война разбросала дружный коллектив по разным, враждующим друг с другом странам. Сам Резерфорд был привлечен к военным исследованиям. Был убит Мозли, только что прославивший свое имя крупным открытием в спектроскопии рентгеновских лучей, Чедвик томился в немецком плену. Лишь по окончании войны Резерфорд смог возобновить свои исследования, но уже в другом месте. С 1919 г. и до самой смерти, последовавшей 19 октября 1937 г., Резерфорд работал директором Кавендишской лаборатории в Кембридже.

Он начал эту работу сенсационным открытием искусственного превращения элементов. Это открытие необычайно стимулировало развитие ядерной физики. Сам Резерфорд в ходе своих исследований предсказал существование нейтральной частицы, равной по массе ядру водорода. Такая частица была найдена в 1932 г. его учеником и сотрудником Чедвиком (1891–1974). В Кембридже ф. Астоном (1877-1945) был построен первый масс-спектрограф и открыты изотопы. В Кембридже в 1932 г. была осуществлена Кокроф-том и Уолтоном реакция расщепления лития протонами, ускоренными с помощью высоковольтного ускорителя.

Кембридж вновь собирал исследователей из разных стран мира и готовил квалифицированные кадры ученых-физиков для многих стран.

Сюда приехал молодой советский физик П. Л. Капица, ставший активным сотрудником и другом Резерфорда, создавший впоследствии у себя на родине первоклассный научный институт—Институт физических проблем Академии наук СССР, ныне носящий имя С. И. Вавилова. По инициативе П. Л. Капицы в 1971 г. в Советском Союзе было отмечено 100-летие со дня рождения великого ученого. Было издано собрание трудов Резерфорда, выпущена юбилейная медаль. На XIII Международном конгрессе по истории науки, состоявшемся в августе 1971 г. в Москве, памяти Резерфорда было посвящено специальное заседание, на котором выступили с воспоминаниями ученики Резерфорда, приехавшие из Англии, Канады и США. Заседание проходило под председательством П. Л. Капицы, вручавшего всем докладчикам памятную медаль Резерфорда и том его трудов на русском языке.

Открытие атомного ядра

Г. Гейгер



Рассмотрим несколько подробнее одно из фундаментальных открытий Резерфорда — открытие атомного ядра и планетарной модели атома. Мы видели, что уподобление атома

планетной системе делалось еще в самом начале XX в. Но эту модель было трудно совместить с законами электродинамики, и она была оставлена, уступив место модели Томсона. Однако в 1904 г. начались исследования, приведшие к утверждению планетарной модели. Вильям Брэгг (1862–1942) в Австралии, изучая прохождение α -частиц через вещество, нашел, что частицы не рассеиваются веществом, а поглощаются им, проходя в веществе до поглощения определенный прямолинейный отрезок – длину пробега.

Одна из тем, выдвинутая Резерфордом в Манчестере, – рассеяние α -частиц. Она была поручена Гейгеру и Марсдену (1889-1970).

Метод, применявшийся этими исследователями, заключался в следующем: α -частицы, испускаемые источником, диафрагмировались щелью и попадали на экран из сернистого цинка, на котором получалось изображение щели в виде узкой полоски. Затем между щелью и экраном помещали тонкую металлическую пластинку, изображение щели размывалось, что указывало на рассеяние α -частиц веществом пластинки. Исследуя угол рассеяния, Гейгер установил, что наиболее вероятный угол рассеяния пропорционален атомному весу и обратно пропорционален кубу скорости частицы.

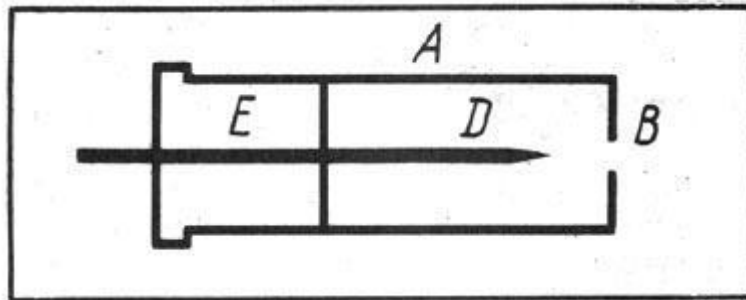


Рис. 45. Схема счётчика Гейгера

Но наиболее поразительным оказался факт, открытый Гейгером и Марсденом в 1909 г., – существование больших углов рассеяния. Некоторая, очень небольшая часть α -частиц (примерно $1/8000$) рассеивается на угол, больший прямого, отбрасываясь, таким образом, обратно к источнику. Тонкая пластина отбрасывала частицы, летящие с большой скоростью.

Как раз в том же, 1909 г. Резерфорд и Ройдс неопровержимо доказали, что α -частицы являются дважды ионизированными атомами гелия. Для таких тяжелых быстро движущихся частиц рассеивание на углы, большие прямого, казалось весьма невероятным. Резерфорд говорил, что это так же невероятно, как если бы пуля отскакивала от листа папиросной бумаги.

Одно из возможных объяснений аномального рассеяния состояло в том, что оно складывается из многих небольших углов отклонений, вызванных атомами рассеивающего вещества.

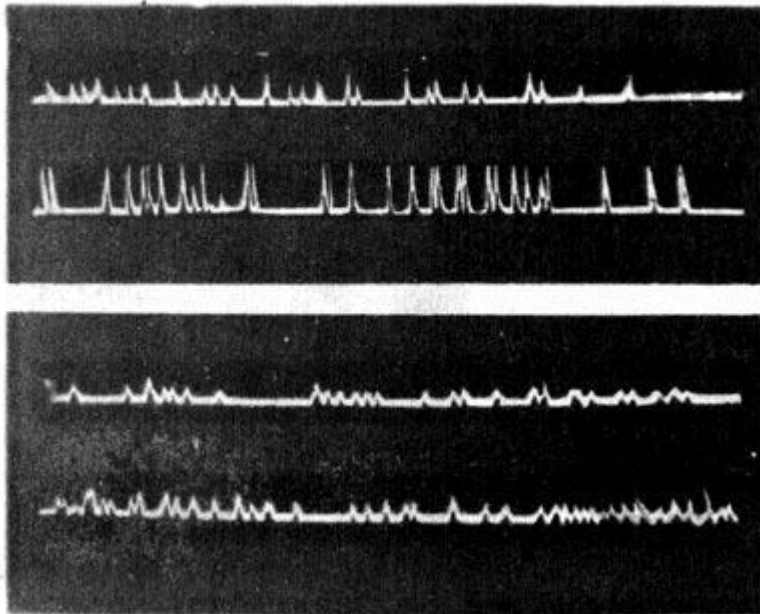


Рис. 64. Записи импульсов с первого счётчика Гейгера

Исходя из модели Томсона, Резерфорд подсчитал, что это не может давать больших отклонений даже при многих столкновениях с частицей. И здесь Резерфорд обратился к планетарной модели.

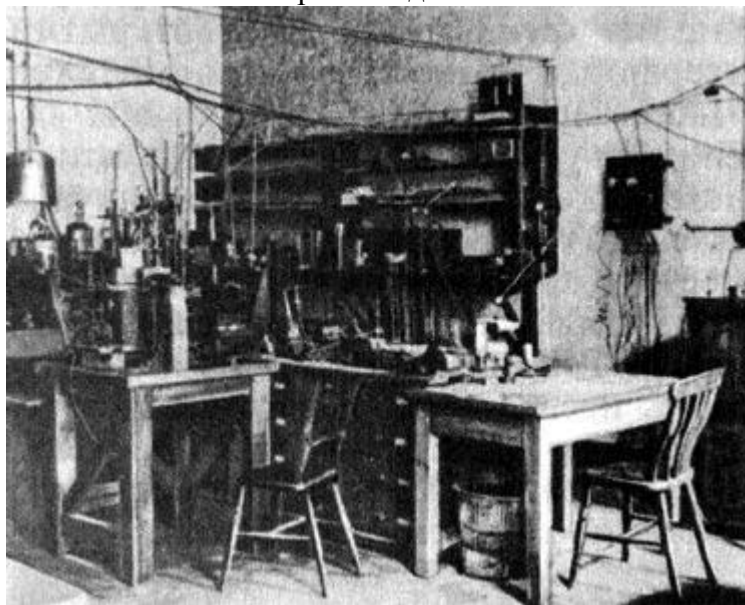


Рис. 65. Лаборатория Резерфорда в Кембридже

Когда α -частица проходит мимо заряженного ядра, то под воздействием кулоновской силы, пропорциональной заряду ядра и заряду α -частицы и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними, она движется по гиперболе, удаляясь по ее ветви после прохождения мимо ядра. Ее прямолинейный путь, таким образом, искривляется, и она отклоняется на угол рассеяния ϕ .

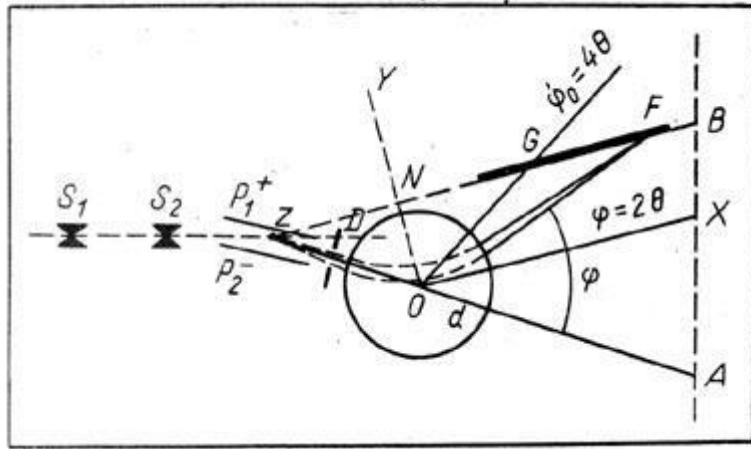


Рис. 48. Схема масс-спектрометра Астона

7 марта 1911 г. Резерфорд сделал в философском обществе в Манчестере доклад «Рассеяние α - и ν -лучей и строение атома». В докладе он, в частности, говорил: «Рассеяние заряженных частиц может быть объяснено, если предположить такой атом, который состоит из центрального электрического заряда, сосредоточенного в точке и окруженного однородным сферическим распределением противоположного электричества равной величины. При таком устройстве атома α - и ν -частицы, когда они проходят на близком расстоянии от центра атома, испытывают большие отклонения, хотя вероятность такого отклонения мала».

Резерфорд рассчитал вероятность такого отклонения и показал, что она пропорциональна числу атомов n в единице рассеивающего материала, толщине рассеивающей пластинки и величине b^2 , выражаемой следующей формулой:

$$b^2 = \frac{2NeE}{mu^2},$$

где Ne – заряд в центре атома, E – заряд отклоняемой частицы, m – ее масса, u – ее скорость. Кроме того, эта вероятность зависит от угла рассеяния Φ , так что число рассеянных частиц на единицу площади пропорционально $(\text{cosec})^4 \Phi/2$

Этот «закон косеканса» был проверен экспериментально Гейгером и был найден справедливым в пределах экспериментальных ошибок.

Важным следствием теории Резерфорда было указание на заряд атомного центра, который Резерфорд положил равным $\pm Ne$. Заряд оказался пропорциональным атомному весу. «Точное значение заряда центрального ядра не было определено, – писал Резерфорд, – но для атома золота оно приблизительно равно 100 единицам заряда».

Ф. Астон



П. Л. Капица

В 1913 г. Гейгер и Марсден предприняли новую экспериментальную проверку формулы Резерфорда, подсчитывая рассеяние частиц по производимым ими сцинтилляционным вспышкам «Это была трудная, кропотливая работа, – характеризовал Резерфорд работу своих сотрудников, – так как нужно было считать много тысяч частиц.

Результаты Гейгера и Марсдена весьма близко согласуются с теорией». Из этих утомительных и кропотливых исследований и возникло представление о ядре как устойчивой части атома, несущей в себе почти всю массу атома и обладающей положительным (Резерфорд еще в 1913 г. считал знак заряда неопределенным) зарядом. При этом число элементарных зарядов оказалось пропорциональным атомному весу.



Рис. 67. Здание кавендишской лаборатории

Заряд ядра оказался важнейшей характеристикой атома. Бор вспоминал, что в 1912–1913 гг. «в центре интересов всей манчестерской группы было исследование многочисленных следствий открытия атомного ядра». Далее он писал: «С самого начала было ясно, что благодаря большой массе ядра и его малой протяженности в пространстве сравнительно с размерами всего атома строение электронной системы должно зависеть почти исключительно от полного электрического заряда ядра. Такие рассуждения сразу наводили на мысль о том, что вся совокупность физических и химических свойств каждого элемента может определяться одним целым числом...»

В 1913 г Ван ден Брук показал, что заряд ядра совпадает с номером элемента в таблице Менделеева. В том же 1913 г. ф. Содди и К. фаянс пришли к закону смещения Содди – фаянса, согласно которому при α -распаде радиоактивный продукт смещается в менделеевской таблице на два номера выше, а при β -распаде – на номер ниже. С точки зрения представления о номере элемента как о заряде ядра этот закон получает простое истолкование. К этому же времени Содди пришел к представлению об изотопах как разновидностях одного и того же элемента, ядра атомов которых имеют одинаковый заряд, но разные массы.

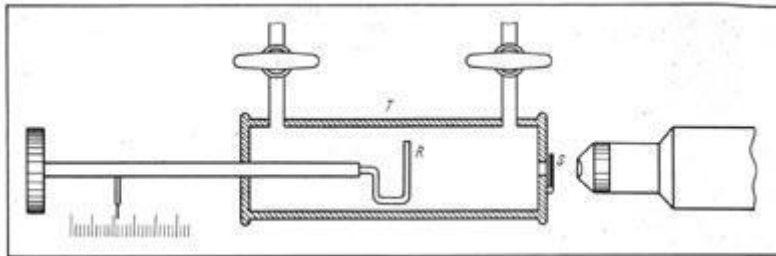
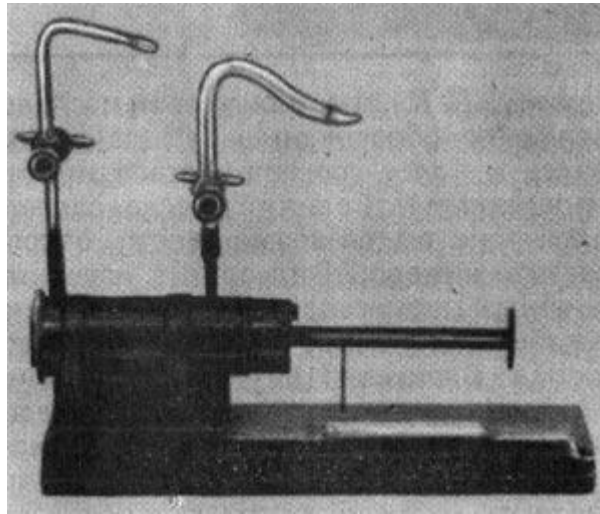


Рис. 68. Установка Резерфорда по расщеплению ядра

Заметим, что эта интерпретация пришла в голову Бору еще до того, как Содди и фаянс открыли закон смещения чисто эмпирически. Эта же модель, все плодотворное значение которой было осознано Бором во время его пребывания в Манчестере, была положена им в основу первой квантовой модели атома. В богатом событиями 1913 г. были опубликованы три знаменитые статьи Бора «О строении атомов и молекул», открывшие путь к атомной квантовой механике.

Бор. Нильс Бор родился 7 октября 1885 г. в семье профессора физиологии Копенгагенского университета Христиана Бора. В 1903 г. Бор поступил в Копенгагенский университет. Еще в студенческие годы Бор выполнил конкурсную работу по поверхностному натяжению. Работа была удостоена золотой медали Датской Академии наук.



Н. Бор

В 1909 г., спустя два года после окончания Бором университета, эта работа – «Определение коэффициента поверхностного натяжения воды методом колебания струи» – была опубликована в трудах Лондонского Королевского общества.

Весной 1911 г. состоялась защита докторской диссертации Бора на тему «Анализ электронной теории металла», в сентябре того же года Бор приехал на стажировку в Кембридж к Д. Д. Том-сону. Д. Д. Томсон в это время занимался анализом положительных лучей. Им был разработан метод точного анализа–метод парабол, с помощью которого он впервые обнаружил у неона существование двух разновидностей атомов: с атомным весом 20 и 22. Продолжая эти исследования уже после войны, ученик Томсона Астон открыл изотопы многих стабильных элементов. Исследования самого Томсона были обобщены им в монографии «Лучи положительного электричества и их применение к химическому анализу», вышедшей в 1913 г. Томсон поручил и Бору провести эксперимент с положительными лучами. Бор собрал вакуумную установку, однако дело дальше не пошло, и он начал готовить к изданию свою докторскую диссертацию. Томсон отнесся без внимания к работе Бора и не прочитал ее.

В том же, 1911 г., когда Бор приехал в Кембридж, сотрудник Томсона Чарлз Томас Рис Вильсон (1869-1959) изобрел замечательный прибор, известный ныне под названием «камера Вильсона». Этот прибор позволяет видеть заряженную частицу по оставляемому ею туманному следу. Резерфорд, приехавший на традиционный ежегодный обед в Кембридж, в своей речи с энтузиазмом отозвался о приборе Вильсона и полученных первых результатах.

Бор, который впервые увидел Резерфорда на этом обеде, вспоминал, «что наибольшее восхищение у Резерфорда, как это он подчеркивал в своей речи, вызвала настойчивость, с которой Вильсон (в то время они уже были связаны тесной дружбой в Кавендишской лаборатории. – П. К.) продолжал свои исследования по образованию тумана со все более и более усовершенствованными аппаратами». Великий исследователь ядра ясно видел возможности, открываемые камерой Вильсона в изучении ядерных процессов. Позднее в том же Кембридже ученик и сотрудник Резерфорда Блэккет (1897–1974) получил вильсоновскую фотографию расщепления ядра азота α -частицей, первой ядерной реакции, открытой Резерфордом.

Встреча с Резерфордом произвела на Бора огромное впечатление. Вскоре по своим личным делам он побывал в Манчестере, и ему удалось встретиться и побеседовать с Резерфордом. «Во время беседы, в которой Резерфорд с подлинным энтузиазмом говорил о многих новых перспективах развития физики, он любезно согласился на мою просьбу о том, чтобы присоединиться к группе, работающей в его лаборатории, после того как ранней весной 1912 г. я должен был закончить свои занятия в Кембридже; там я был сильно увлечен оригинальными идеями Дж. Дж. Томсона, касающимися электронного строения атомов».

В апреле 1912 г. Бор приехал в Манчестер. История позаботилась о том, чтобы создатель квантовой модели атома поработал сперва с автором первой модели атома, а затем приехал к автору планетарной модели, чтобы на основе этой модели создать теорию атома Резерфорда – Бора. Знаменитая статья Бора, в которой были заключены основы этой теории, начиналась с указания на модели Резерфорда и Томсона и обсуждения их особенностей и различий. Бор послал свою статью Резерфорду. Резерфорд сразу понял революционный характер идей Бора и высказал критические замечания по самым фундаментальным пунктам теории Бора. Бор был вынужден поехать в Манчестер с переработанным вариантом статьи, чтобы договориться с Резерфордом. После длительных дискуссий статья Бора и две его последующие статьи были опубликованы. Однако окончательный ответ на возражения Резерфорда был дан только созданием квантовой механики, и Бор по существу всю жизнь разрабатывал теоретико-познавательные основы физики микромира, уточняя и развивая идеи, начало которым было положено его статьями 1913 г.

Сотрудничество Резерфорда и Бора обещало быть длительным и тесным. В мае 1914 г. Резерфорд прислал Бору предложение занять в Манчестере освободившееся место. Бор с радостью принял это предложение и послал заявление Резерфорду. Работа Бора в

Манчестере началась в тяжелых условиях первой мировой войны. Резерфорд с рядом сотрудников был в Австралии и возвратился оттуда в разгар военных действий. Мозли был призван в армию и убит. Ему удалось сделать замечательное открытие в области рентгеновских спектров и установить связь между частотами линий характеристического излучения и порядковым номером элемента. В декабре 1913 г. была опубликована статья, в которой он писал: «Полученные результаты имеют большое значение для изучения структуры атома и полностью подтверждают точку зрения Резерфорда и Бора».

Генри Мозли родился 23 ноября 1887 г., умер 10 августа 1915 г. «Страшным потрясением для всех нас было трагическое известие о безвременной гибели Мозли в 1915 г. во время Галли-польской операции; его смерть вызвала скорбь у физиков всего мира», – писал Бор в своих воспоминаниях о Резерфорде. Сам Бор в 1916 г. покинул Манчестер и занял пост профессора теоретической физики в Копенгагенском университете.

Бор, несмотря на все трудности военного времени, продолжал разрабатывать свою теорию. В 1915 г. он опубликовал работы «О сериальном спектре водорода и строении атома» и «Спектр водорода и гелия», «О квантовой теории излучения в структуре атома». Он развил исследования, выполненные им в Манчестере в августе 1912 г., и опубликовал их под названием «Теория торможения заряженных частиц при их прохождении через вещество».

Через три года, также в Манчестере, он закончил и опубликовал статью «О торможении быстро движущихся заряженных частиц при прохождении через вещество».

Ч. Т. Вильсон



В декабре 1915 и январе 1916 г. Арнольд Зоммерфельд (1868–1951) развил теорию Бора, рассмотрев движение электрона по эллиптическим орбитам и обобщив правила квантования Бора. Зоммерфельд дал также теорию тонкой структуры спектральных линий, введя релятивистское изменение массы со скоростью. В его расчеты вошла безразмерная универсальная постоянная тонкой структуры:

$$\alpha = \frac{2\pi c^2}{hc} \sim \frac{1}{137}.$$

Бор получил статью Зоммерфельда в Манчестере в марте 1916 г. и с восторгом отозвался о ней. Он писал, что «работа Зоммерфельда в значительной степени изменила современное понимание квантовой теории». Теория атома после открытия Зоммерфельда стала называться теорией Бора –Зоммерфельда.

По возвращении в Копенгаген Бор обнаружил пакет со статьей Эренфеста, содержащей теорию адиабатических инвариантов. Эта теория давала критерий

квантующихся величин и до создания квантовой механики была единственной руководящей нитью при применении правил квантования, предвосхищавшей многие выводы, следующие из статьи Бора.



Г. Мозли

К 1916 г. теория Бора начала разрабатываться многими физиками. Была создана квантовая теория эффекта Зеемана и открытого в 1913 г. Штарком (1874-1957) эффекта влияния электрического поля на спектры. «Область нашей работы, – писал Бор Резерфорду, – после получения статьи Эренфеста превратилась из страны с довольно малочисленным населением в донельзя перенаселенное государство».

Продолжая развивать свои идеи, Бор сформулировал принцип соответствия (1918), означавший шаг вперед в ответе на вопросы, поставленные Резерфордом. Чрезвычайно существенно, что благодаря Бору Копенгаген превратился в центр теоретической физики.

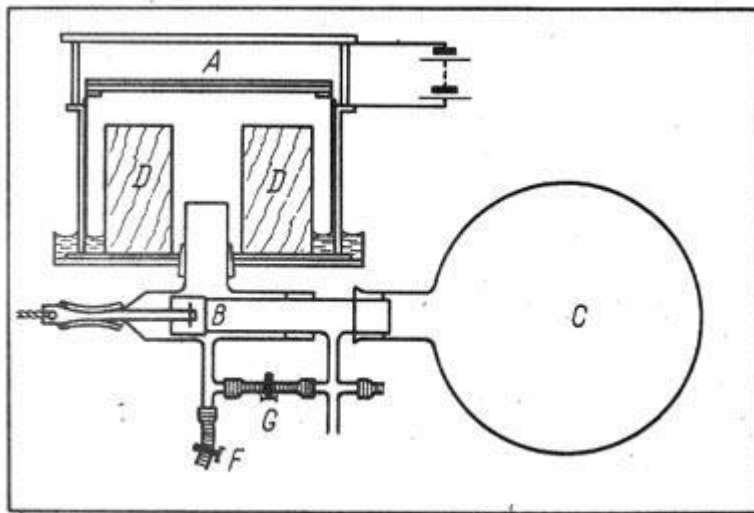


Рис.69. Камера Вильсона

К Бору примкнул молодой физик, ставший его ассистентом, Гендрик Антон Крамере (1894-1952). Бор создал институт теоретической физики, в организации которого ему деятельную поддержку оказывал Резерфорд. Осенью 1920 г., когда сооружение здания института подходило к концу, в Копенгаген приехал Резерфорд, которому Копенгагенский университет присвоил почетную степень. Поддержка Резерфорда имела для Бора огромное значение, и он вспоминал об этом в своей статье «Памяти Резерфорда». В институте Бора работал радиомеханик Георг Хевеши (1885-1966), который в 1922 г., руководствуясь идеями

Бора, открыл вместе с Костером (1889–1950) новый элемент – гафний. В 1922 г. к группе теоретиков института примкнули Паули и Гейзенберг, будущие создатели квантовой механики.

В 1922 г. Бор получил Нобелевскую премию по физике. В прочитанном им 11 декабря 1922 г. в Стокгольме нобелевском докладе он развернул картину состояния атомной теории к этому времени. Одним из наиболее существенных успехов теории было нахождение ключа к периодической системе элементов, которая объяснялась наличием электронных оболочек, окружающих ядра атомов. Огромная физическая интуиция позволила Бору, еще не зная принципа Паули и спина электрона, наметить правильную картину построения периодической системы, исправить ошибку химиков в классификации редких земель и предсказать существование нового элемента, который и был открыт Костером и Хевеши, давшими ему название гафний.

В 1925 г. работой Гейзенберга началось создание квантовой механики. В том же году Уленбек и Гаудсмит, работавшие у Эренфеста, открыли спин электрона, а Паули открыл принцип, носящий ныне его имя. С тех пор мысли Бора сосредоточились на проблемах квантовой механики, которые он горячо обсуждал со своими молодыми коллегами. После открытия Гейзенбергом в 1927 г. принципа неопределенности Бор выдвинул в качестве основной теоретической идеи квантовой теории принцип дополнительности.

В сентябре 1927 г. в связи со столетием со дня смерти Вольты на его родине, в Италии, на берегу озера Комо состоялся Международный конгресс физиков. На этом конгрессе Бор выступил с докладом «Квантовый постулат и новейшее развитие атомной теории», которым было положено начало так называемой «копенгагенской» интерпретации квантовой теории.

В октябре состоялся Сольвеевский конгресс в Брюсселе по теме «Электроны и фотоны». На конгрессе вспыхнула дискуссия между Бором и Эйнштейном по вопросу о копенгагенской интерпретации, которую Эйнштейн оспаривал. Дискуссия продолжалась с новой силой на Сольвеевском конгрессе 1930 г. В этих дискуссиях участвовал и Эренфест. Затем в 1935 г. дискуссия продолжалась в печати. Эйнштейн до самой смерти оставался противником копенгагенской точки зрения, а Бор до самой смерти продолжал развивать и уточнять свою концепцию.

В 1936 г. Бор выступил со статьей «Захват нейтрона и строение ядра», в которой предложил капельную модель ядра и механизм захвата нейтрона ядром. Ядерной физике была посвящена также работа 1937 г. «О превращении атомных ядер, вызванных столкновением с материальными частицами». Странно, ни Бор, ни кто другой не мог предсказать деления ядра, подсказываемого капельной моделью. Интерпретация опытов ферми 1934 г. затянулась, и лишь после опытов Гана и Штрассмана в конце 1938 – начале 1939 г. было открыто деление урана. Бор немедленно реагировал на это открытие и посвятил ему ряд работ, в том числе и совместную работу с Дж. А. Уил-лером «Механизм деления ядер».

В 1939 г. началась вторая мировая война, а в 1940 г. Дания была оккупирована гитлеровцами. К этому времени уже началась работа по осуществлению цепной реакции деления. В 1942 г. в США под руководством ферми был построен первый реактор. Широким фронтом развернулась работа по изготовлению атомной бомбы. Пребывание Бора в оккупированной гитлеровцами Дании становилось опасным. Осенью 1943 г. Бор выехал в Швецию, а 6 октября 1943 г. его на самолете вывезли в Англию. Затем Бор уехал в США, где принял участие в работе над проектом атомной бомбы в Лос-Анджелесе, где он жил под именем Николаса Бейкера.

П. Эренфест



По окончании войны в августе 1945 г. Бор вернулся в Данию. Мир уже знал об атомной бомбе, разрушившей Хиросиму и Нагасаки. С этого момента и до конца жизни проблема предотвращения атомной войны волновала Бора. Он принял участие в работе Первой Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии. В 1957 г. ему была присвоена первая премия «Атом для мира».

В 1961 г. Бор приехал в Советский Союз. Он посетил Объединенный институт ядерных исследований в Дубне, физический институт Академии наук в Москве, Московский и Тбилисский университеты. Это была его последняя встреча с советскими учеными. 18 ноября 1962 г. он неожиданно скончался.

Эренфест. Говоря о Боре, мы упомянули имя Эренфеста. Его имя в истории физики XX в. встречается часто. Он был связан и с Бором, и с Эйнштейном, и с Лоренцем, и многими другими физиками. Он был связан и с русскими физиками и в последние годы жизни собирался перейти в один из советских университетов.

Пауль Эренфест, которого в России называли Павлом Сигизмундовичем, родился в Вене 18 января 1880 г. В 1899–1901 гг. и в 1903–1904 гг. он учился в Венском университете, где слушал лекции Больцмана, и в 1901–1903 гг. — в Геттингенском университете.

Вернувшись в 1903 г. из Геттингена в Вену, Эренфест стал активным участником семинара, которым руководил Больцман. На семинаре родилась и тема докторской диссертации Эренфеста «Движение твердых тел в жидкостях и механика Герца». Больцман, бывший его оппонентом, с большой похвалой отозвался о диссертации, которую Эренфест защитил в июне 1904 г. В том же году Эренфест вступил в брак с Т. А. Афанасьевой (1876–1964). Прожив в Вене и Геттингене до лета 1907 г., Эренфесты отправились в Россию.

В России они прожили пять лет. В Петербурге Эренфест организовал на своей квартире семинар, в котором принимали участие молодые физики Петербурга Д. С. Рождественский, К. К. Баумгарт, Л. Д. Исаков и студенты-физики Ю. А. Крутков, В. Р. Бурсиан, В. Г. Хлопин, В. М. Чулановский и другие. Это были будущие советские ученые—академики и профессора.

Семинар Эренфеста стал точкой роста будущей советской теоретической физики. Сам Эренфест готовился к магистерским экзаменам, которые держал в 1909–1910 гг., читал курс по проблемам математической физики в политехническом институте, писал статьи по вопросам теоретической физики. Среди этих работ поистине классической стала совместная статья П. С. Эренфеста и Т. А. Афанасьевой-Эренфест «Принципиальные основы статистического понимания в механике», опубликованная в Математической энциклопедии в 1912 г. Весьма интересной была его совместная заметка с Л. Д. Исаковым «О так называемой

«групповой скорости», в которой Эренфест исправил ошибку Рэлея и показал, что методом абберации измеряется не фазовая, а групповая скорость.

Однако получить прочное место в Петербурге Эренфесту не удалось. Как ни ценили его петербургские физики, как ни старались они помочь ему устроиться на кафедру какого-либо из петербургских институтов, министерство просвещения было непреклонно, и места в Петербурге Эренфесту получить не удалось. Начались поиски места в Вене, в Праге, во Львове. Поиски были безрезультатными. И здесь совершенно неожиданно судьба Эренфеста круто повернулась. В апреле 1912 г. Эренфест разослал отписки статьи, напечатанной в Математической энциклопедии, различным ученым, в том числе и Лоренцу. 20 апреля 1912 г. Лоренц прислал Эренфесту письмо, в котором дал высокую оценку статье и задал Эренфесту вопрос о том, где он сейчас работает и как складывается его судьба.

Эренфеста несколько удивила озабоченность Лоренца его судьбой, но в следующем письме Лоренц разъяснил смысл своих вопросов. Он собирался оставить ординарную профессию по кафедре теоретической физики Лейденского университета и подыскивал себе преемника. «Я подумал также и о Вас», – писал Лоренц. В результате Эренфест принял предложение Лоренца, и состоялось избрание Эренфеста профессором кафедры теоретической физики Лейденского университета. Профессором в Лейдене Эренфест пробыл двадцать один год, до трагической гибели 25 сентября 1933 г.

Эренфест был искренним другом Советского Союза. Он был другом многих советских физиков: А. ф. Иоффе, Д. С. Рождественского, Ю. А. Круткова и других, часто приезжал в Советский Союз. 6 декабря 1924 г. Эренфест по представлению А. ф. Иоффе и П. П. Лазарева был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР вместе с Бором, Ланжевенном, Майкельсоном,

Милликеном, Лауэ, Дебаем, Борном. В представлении Лазарев и Иоффе, перечисляя заслуги Эренфеста, писали: «В частности, П. С. Эренфест сыграл весьма крупную роль и в России. Его следует считать основателем школы теоретической физики, к которой принадлежали Г. Г. Вейхардт, В. Р. Бурсиан, Ю. А. Крутков».

Атом Бора

Вернемся, однако, к работам Бора о строении атомов. Бор, как и Томсон до него, ищет такое расположение электронов в атоме, которое объяснило бы его физические и химические свойства. Бор уже знает о модели Резер-форда и берет ее за основу. Ему известно также, что заряд ядра и число электронов в нем, равное числу единиц заряда, определяется местом элемента в периодической системе элементов Менделеева. Таким образом, это важный шаг в понимании физико-химических свойств элемента. Но остаются непонятными две вещи: необычайная устойчивость атомов, несовместимая с представлением о движении электронов по замкнутым орбитам, и происхождение их спектров, состоящих из вполне определенных линий. Такая определенность спектра, его ярко выраженная химическая индивидуальность, очевидно, как-то связана со структурой атома. Все это очень трудно совместить с универсальностью электрона, заряд и масса которого не зависят от природы атома, в состав которого они входят. Устойчивость атома в целом противоречит законам электродинамики, согласно которым электроны, совершая периодические движения, должны непрерывно излучать энергию и, теряя ее, «падать» на ядро. К тому же и характер движения электрона, объясняемый законами электродинамики, не может приводить к таким характерным линейчатым спектрам, которые наблюдаются на самом деле. Линии спектра группируются в серии, они сгущаются в коротковолновом «хвосте» серии, частоты линий соответствующих серий подчинены странным арифметическим законам.

Так, Иоганн Бальмер (1825-1898) в 1885 г. нашел, что четыре линии водорода $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$ имеют длины волн, которые могут быть выведены из одной формулы:

$$\lambda = 3645,6 \frac{m^2}{m^2 - 4}, \quad m = 3, 4, 5, 6.$$

Позже было найдено еще два десятка линий в ультрафиолетовой части, и их длины волн также укладывались в формулу Бальмера.



М. Лауэ

Иоганн Ридберг (1854-1919) в 1889-1900 гг. нашел, что и линии спектров щелочных металлов могут быть распределены по сериям. Частоты линий каждой серии могут быть представлены в виде разности двух членов – термов. Так, для главной серии

$$n = \frac{1}{\lambda} = \frac{R}{(1+s)^2} - \frac{R}{(m+p)^2}, \quad m = 2, 3, \dots,$$

где R – некоторое постоянное число, получившее название постоянной Ридберга, s и p – дробные поправки, меняющиеся от серии к серии.

«Основным результатом тщательного анализа видимой серии линейчатых спектров и их взаимоотношений, – писал Бор, – было установление того факта, что частота ν каждой линии спектра данного элемента может быть представлена с необыкновенной точностью формулой $\nu = T - T''$, где T и T'' – какие-то два члена из множества спектральных термов Γ , характеризующих элемент».

Бору удалось найти объяснение этого основного закона спектроскопии и вычислить постоянную Ридберга из таких фундаментальных величин, как заряд и масса электрона, скорость света и постоянная Планка. Но для этого ему пришлось ввести в физику атома представления, чуждые классической физике.

Это прежде всего представления о стационарных состояниях атомов, находясь в которых электрон не излучает, хотя и совершает периодическое движение по круговой орбите.

Для таких состояний момент импульса равен кратному от $h/2\pi$. При переходе с одной орбиты на другую электрон излучает и поглощает энергию, равную кванту. В заключительных замечаниях к трем своим статьям «О строении атомов и молекул» Бор формулирует свои основные гипотезы следующим образом:

Ю. В. Вульф



«1. Испускание (или поглощение) энергии происходит не непрерывно, как это принимается в обычной электродинамике, а только при переходе системы из одного «стационарного» состояния в другое.

2. Динамическое равновесие системы в стационарных состояниях определяется обычными законами механики, тогда как для перехода системы между различными стационарными состояниями эти законы не действительны.

3. Испускаемое при переходе системы из одного стационарного состояния в другое излучение монохроматично, и соотношение между его частотой ν и общим количеством излученной энергии E дается равенством $E = h\nu$, где h – постоянная Планка.

4. Различные стационарные состояния простой системы, состоящей из вращающегося вокруг положительного ядра электрона, определяются из условия, что отношение между общей энергией, испущенной при образовании данной конфигурации, и числом оборотов электрона является целым кратным $A/2\pi$. Предположение о том, что орбита электрона круговая, равнозначно требованию, что момент импульса вращающегося вокруг ядра электрона был бы целым кратным $h/2\pi$.

5. «Основное» состояние любой атомной системы, т. е. состояние, при котором излученная энергия максимальна, определяется из условия, чтобы момент импульса каждого электрона относительно центра его орбиты равнялся $h/2\pi$ ».

Далее Бор пишет: «Было показано, что при этих предположениях с помощью модели атома Резерфорда можно объяснить законы Бальмера и Ридберга, связывающие частоты различных линий в линейчатом спектре».

Именно Бор получил для спектра водорода формулу:

$$\nu = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} \left(\frac{1}{\tau_2^2} - \frac{1}{\tau_1^2} \right),$$

«Мы видим, – пишет Бор, – что это соотношение объясняет закономерность, связывающую линии спектра водорода. Если взять $\tau_2 = 2$ и варьировать τ_1 получим обычную серию Бальмера.

Если взять $\tau_2 = 3$, получим в инфракрасной области серию, которую наблюдал Пашен и еще ранее предсказал Ритц. При $\tau_2 = 4, 5, \dots$ получим в крайней ультрафиолетовой и соответственной крайней инфракрасной областях серии, которые еще не наблюдались, но

существование которых можно предположить ».

Действительно, серия в ультрафиолетовой области, соответствующая $\tau = 1$, была найдена Лайманом (1874–1954) в 1916 г., серия в инфракрасной области, соответствующая $\tau = 4$, была найдена Брэкетом в 1922 г., и серия $\tau = 5$ была найдена Пфундом в 1924 г.

Используя известные в то время значения e , t , h , Бор вычислил значение постоянной в спектральной формуле:

$$\frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} = 3,1 \cdot 10^{15},$$

тогда как экспериментальное значение равно $3,290 \cdot (10)^{15}$. «Соответствие между теоретическим и наблюдаемым значениями лежит в пределах ошибок измерений постоянных, входящих в теоретическую формулу», – писал Бор.

Бор дал объяснение спектральной серии, наблюдаемой в 1896–1897 гг. Пикерингом в спектре звезды γ -Кормы. Он показал, что эта серия соответствует спектру ионизированного гелия.

После опубликования статей Бора фаулер обнаружил новые линии при разряде в трубке, заполненной водородом и гелием, которые, по его мнению, не укладываются в серию Бора. Бор уточнил теорию, введя движение ядра и электрона около общего центра массы.

Тогда:

$$k = \lambda \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = \frac{ch^3(M+m)}{2\pi^2 E^2 e^2 M m},$$

откуда:

$$\frac{k_{\text{H}}}{k_{\text{He}}} = 4,00163$$

в точном соответствии с экспериментом.

В последующих работах Бор непрерывно уточнял основы своей теории. Она была дополнена принципом соответствия (1918), позволяющим делать определенные выводы об интенсивности и поляризации спектральных линий. Зоммерфельд развил теорию пространственного квантования, позволившую дать объяснение нормального эффекта Зеемана. Эффект Штарка, открытый в 1913 г., был объяснен на основе модели Бора Эйнштейном и Шварцшильдом (1916). Сам Бор неоднократно занимался вопросом о влиянии магнитных и электрических полей на спектры атомов. Он же впервые включил в квантовую теорию атома и рассмотрение рентгеновских спектров, считая, что «характеристическое рентгеновское излучение испускается при возвращении системы в нормальное состояние, если каким-либо воздействием, например катодными лучами, были предварительно удалены электроны внутренних колец» (1913).

Волновой характер рентгеновского излучения был установлен Максом Лауэ (1879–1960), Вальтером Фридрихом (1883–1968) и Паулем Книппингом (1883–1935). В 1912 г. Лауэ пришла в голову мысль использовать в качестве дифракционной решетки для рентгеновских лучей кристалл. Он предложил Фридриху и Книппингу произвести эксперимент. Эксперимент с кристаллами цинковой обманки, каменной соли и свинцового блеска блестяще подтвердил предположение Лауэ. Статья Лауэ, Фридриха и Книппинга «Интерференционные явления в рентгеновских лучах» была опубликована в 1912 г. и в дополненном виде в 1913 г.

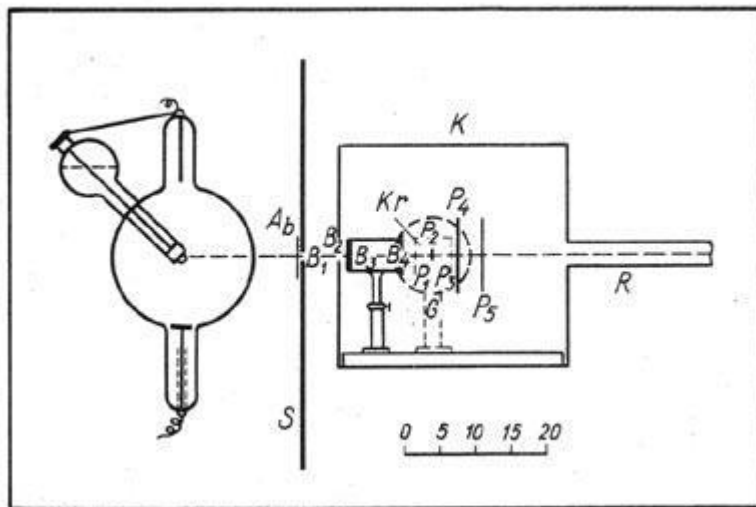


Рис. 70. Схема опыта Лауэ, Фридриха и Книппинга

Лауэ сразу же после опытов Фридриха и Книппинга дал теорию эксперимента, которая составила первую теоретическую часть статьи 1913 г. Однако она еще не давала возможностей точного измерения длин волн рентгеновских лучей, поскольку не была известна точно структура кристаллов. Основы рентгеноסקопии и рентгеноструктурного анализа были даны отцом и сыном Брэггами: Вильямом Генри Брэггом (1862–1942) и его сыном Вильямом Лауренсом Брэггом (1890–1971). Они нашли, что пучок рентгеновских лучей отражается от поверхности кристалла по закону геометрической оптики для углов скольжения Θ , удовлетворяющих условию:

$$2d\sin\Theta = n\lambda.$$

Аналогичное соотношение было найдено русским физиком Юрием (Георгием) Викторовичем Вульфом (1863–1925). Закон Брэггов и Вульфа дал возможность измерить длины рентгеновских лучей.

Открытые в 1908 г. Чарлзом Гловером Баркла (1877–1944) так называемые характеристические лучи образуют линейчатый спектр, распадающийся на серии, обозначаемые в рентгеноסקопии буквами K, L, M, N,

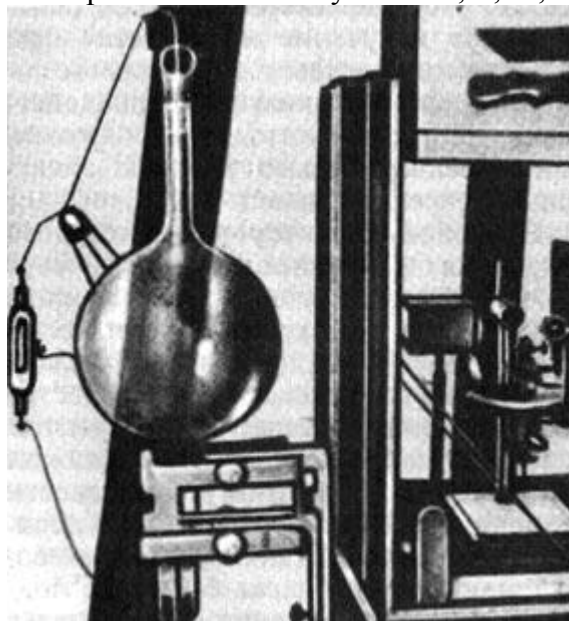


Рис. 71. Установка Лауэ, Фридриха и Книппинга

Генри Мозли в 1913–1914 гг. открыл закон смещения длин волн характеристических

лучей, принадлежащих к одной и той же серии, при переходе от элемента к элементу. Частота рентгеновских лучей, определяющая их «жесткость», возрастает с возрастанием порядкового номера элемента. Заметим, что пионеры рентгеноскопии М. Лауэ, В. Г. и В. Л. Брэгги, Ч. Баркла получили Нобелевские премии по физике: Лауэ – в 1914 г., Брэгги – в 1915 г., Баркла – в 1917 г.

Первое теоретическое истолкование рентгеновских спектров на основе идей Бора состоит в том, что они обязаны переходам электронов на вакантные места во внутренних оболочках. Оно было дано Зоммерфельдом в его фундаментальной работе 1916 г. В том же 1916 г. П. Дебай и П. Шеррер разработали новую методику рентгеновского анализа кристаллов в порошке, получившую широкое распространение в рентгеноструктурном анализе.

Идеи Бора получили экспериментальное подтверждение в опытах Джеймса Франка (1882–1964) и Густава Герца, которые начиная с 1913 г. изучали соударения электронов с атомами паров и газов. Оказалось, что электрон может сталкиваться с атомами газов упруго и неупруго. При упругом ударе электрон отскакивает от тяжелого атома (например, ртути), не теряя энергии, при неупругом ударе его энергия теряется и передается атому, который при этом либо возбуждается, либо ионизируется. Порции энергии, затрачиваемые на возбуждение атома, вполне определенные: так, электрон при столкновении с атомами ртути теряет энергию 4,9 эВ, что соответствует энергии кванта ультрафиолетового света длиной волны 2537 Å. Квантовый характер поглощения энергии атомом был продемонстрирован в опытах Франка, Герца и других физиков с поразительной наглядностью. За эти исследования, которые продолжались ряд лет, в 1925 г. Франк и Герц были удостоены Нобелевской премии.

Квантовый характер излучения и поглощения энергии атомом лег в основу теоретического исследования о световых квантах, выполненного Эйнштейном в 1916–1917 гг. В этом исследовании Эйнштейн вывел формулу Планка, исходя из представления о направленном излучении. Атом излучает и поглощает энергию квантами. Выстреливая квант в определенном направлении, атом сообщает ему не только энергию $h\nu$, но и импульс $h\nu/c$. При излучении молекула газа переходит из энергетического состояния Z_m энергией e_m в состояние Z_n с энергией e_n излучая энергию $e_m - e_n$. Поглощая такую же энергию, молекула переходит из состояния Z_n в состояние Z_m . Молекула может перейти из состояния Z_m в состояние Z_n самопроизвольно, спонтанно. Вероятность такого перехода за время dt пропорциональна этому промежутку времени dt :

$$dW = A_m^n dt.$$

Но, кроме этого спонтанного перехода, впервые введенного Бором при объяснении спектров, по Эйнштейну, для молекул и атомов, находящихся в световом поле, возможны индуцированные переходы под действием светового излучения. Вероятность такого «индуцированного излучения»:

$$dW = B_m^n \rho dt, \quad (B^1)$$

где ρ – объемная плотность световой энергии. Точно так же вероятность поглощения энергии молекулой, находящейся в состоянии Z_n и перехода ее на высший энергетический уровень Z_m , будет:

$$dW = B_n^m \rho dt. \quad (B)$$

В равновесном состоянии атом в среднем столько же поглощает энергии, сколько и излучает. Поэтому:

$$p_n e^{\frac{-\varepsilon_n}{kT}} B_n^m \rho = p_m e^{\frac{-\varepsilon_m}{kT}} (B_m^n \rho + A_m^n),$$

где по закону статистики Больцмана число молекул, находящихся в состоянии Z_n , пропорционально:

$$W_n = p_n e^{-\frac{\varepsilon_n}{kT}}$$

Из предыдущего равенства получается:

$$\rho = \frac{\frac{A_m^n}{B_m^n}}{e^{\frac{\varepsilon_m - \varepsilon_n}{kT}} - 1}.$$

Положим $\varepsilon_m - \varepsilon_n = h\nu$, и для высоких частот, применяя закон Вина, получим формулу Планка:

$$p = \alpha \nu^3 e^{\frac{-h\nu}{kT}}.$$

Идея Эйнштейна об индуцированном излучении нашла в современной физике и технике важное применение в лазерах.

Как было уже сказано, в 1916 г. Зоммерфельд обобщил теорию Бора, введя правила квантования для систем с несколькими степенями свободы. Он рассмотрел движение по эллипсу, введя азимутальные и радиальные квантовые числа. Введя далее пространственное квантование и третье квантовое число, он дал теорию нормального эффекта Зеемана. Наконец, он дал теорию тонкой структуры спектральных линий и объяснение рентгеновских спектров. Все эти результаты были подробно разработаны им в классической монографии «Строение атомов и спектры», первое издание которой вышло в 1917 г. До 1924 г. включительно эта книга выдержала четыре издания. Последнее издание ее уже в двух томах вышло в 1951 г. и русский перевод – в 1956 г.

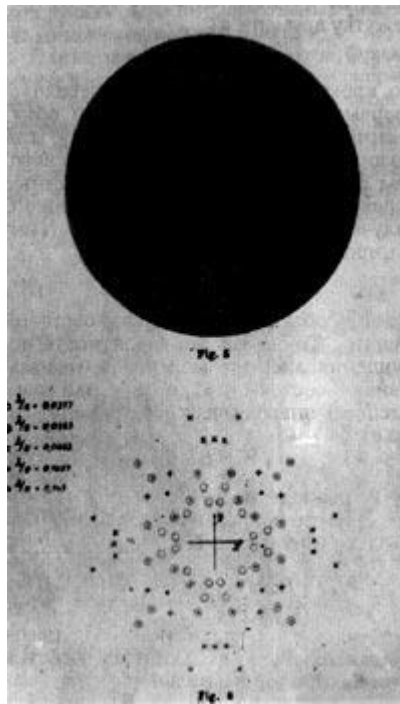
Густав Герц.



Таким образом, к 1917 г. идеи Бора получили всестороннее развитие как в работах самого Бора, так и других авторов. Они были экспериментально подтверждены, и теория Бора получила всеобщее признание. Но те трудные вопросы, которые были поставлены Резерфордом, еще не были сняты, а многие трудности, с которыми сталкивалась теория в попытках рассмотреть многоэлектронные атомы, аномальный эффект Зеемана и многое другое, показали, что в теории Бора при всех ее успехах есть серьезные недостатки принципиального характера. Трудности и противоречия накопились, и надо было искать выход. Но прежде чем рассказать, каким путем были преодолены трудности теории Бора, рассмотрим коротко историю развития физики в нашей стране.



Д. Франк



Рим. 72. Одна из первых лауэграмм

Глава шестая. Становление советской физики

Исторические замечания

В истории науки перевороты в развитии науки нередко происходили одновременно с социальными переворотами. Вряд ли это совпадение можно считать случайностью. Наука – социальное явление, и изменение социальных условий неизбежно сказывается на ее развитии.

Так, в Древней Греции в эпоху восстания демоса против господства родовой аристократии начала складываться античная наука, в воззрениях представителей которой, начиная с Фалеса, отчетливо звучит тема изменения, развития сущего.

В эпоху, последовавшую за завоеваниями Александра Македонского, характер греческой науки изменился самым радикальным образом.

Современное опытное естествознание, как указывал Энгельс, родилось в обстановке «всеобщей революции» Английская буржуазная революция XVII в. создала английскую науку, французская буржуазная революция обеспечила ведущие позиции Франции в математических и естественных науках.

Революции, происходившие в отдельных странах, неизбежно оказывали глубокое влияние на весь ход мировой истории, в том числе и на развитие науки и культуры. Особенно глубокое влияние имела Великая Октябрьская социалистическая революция, открывшая новую эру в истории человечества.

История Октябрьской социалистической революции самым тесным образом связана с историей партии, под руководством которой русский рабочий класс совершил эту революцию. История Коммунистической партии Советского Союза излагается в высшей школе в специальном курсе, и основные факты этой истории достаточно хорошо известны.

Здесь мы рассмотрим только один вопрос истории Октябрьской революции – вопрос становления советской социалистической науки, и прежде всего физики. Простое сопоставление развития физики в России до Октября и после обнаруживает глубину влияния Октябрьской революции на историю науки в России.

До Октября науки, и в том числе физика, развивались в Императорской Академии наук и в университетах Петербургском, Московском, Киевском, Казанском, Харьковском, Новороссийском, Томском, а также в Варшаве и Гельсингфорсе (Хельсинках), входивших тогда в состав российской империи. Между университетской и академической наукой шла глухая вражда, прорывавшаяся то и дело «академическими инцидентами». Так, лучшие представители университетской науки Д. И. Менделеев, К. А. Тимирязев, А. Г. Столетов и многие другие не были допущены в академию, которая не только по названию, но и по самой сути оставалась «императорской» и президентом ее был член императорской фамилии Константин Романов. Академическая наука была страшно далека от народа, от запросов страны.

С другой стороны, в университетах основное внимание уделялось преподаванию, научная деятельность отходила на второй план. П. Н. Лебедева, для которого научная деятельность стояла на первом плане, это страшно тяготило.

Ассигнования на научные исследования были ничтожными и к тому же отпускались под строгим надзором царских чиновников, не понимавших нужды науки.

Перед самой войной, в 1911 г., разразились события, связанные со смертью Толстого, и ряд профессоров Московского и Петербургского университетов подали в отставку. В Московском университете был полный погром, ушел П. Н. Лебедев со своими учениками, прекратив плодотворную научную деятельность. Вскоре после ухода из университета Лебедев умер.

Лишь после Октября вернулись в университет его ученики – В. К. Аркадьев, А. К. Тимирязев, В. И. Романов и другие. Лебедев был самым крупным физиком в России до Октября, и его трагическая судьба ярко говорит о тяжелом состоянии физики в России до революции. Ряд физиков вынуждены были уехать из России за границу и там получить научную подготовку.

А. ф. Иоффе, Л. И. Мандельштам, Н. Д. Папалекси, а несколько ранее П. Н. Лебедев и Б. Б. Голицын получили научную подготовку и начали свой научный путь в Германии. В русских университетах не нашлось места для П. С. Эренфеста и А. ф. Иоффе. Лебедев был глубоко прав, когда писал в ноябре 1911 г., незадолго до своей смерти: «... Если присмотреться к работе наших выдающихся ученых, то приходится утверждать, что в большинстве случаев они дали крупные исследования не благодаря тем условиям, в которых они работали в России, а вопреки им...».

Революция совершилась, когда Россия была разорена войной. Отсталая экономика, в основе которой лежали соха и лошадь крестьянина, не выдержала напряжения военных лет, страна была разорена. После революции разразилась гражданская война, отрезавшая от центральных областей земледельческие и промышленные районы. Голод, холод, разруха царили в стране в первые послереволюционные годы. Казалось, вся научная жизнь России должна замереть. Но произошло иное. Уже в 1918 г. начали организовываться новые научные учреждения: научно-исследовательские институты и лаборатории. В октябре 1918 г. Бонч-Бруевич при прямой поддержке В. И. Ленина организовал Нижегородскую радиоло-браторию, в которой велись научно-технические исследования по радиофизике и радиотехнике и создавались электронные лампы для нужд молодой советской радиотехники.

С октября 1918 г. в Петрограде начал свою деятельность Рентгенорадиологи-ческий институт, организованный А. ф. Иоффе и М. И. Неменовым. В это же время Д. С. Рождественский, уделявший большое внимание производству в России оптического стекла, организовал в Петрограде Государственный оптический институт.

В Москве на базе физического института народного университета им. Шанявского П. П. Лазарев организует Институт биофизики Наркомздра-ва. Организуются и другие научные институты, в том числе Центральный аэрогидродинамический, институт (ЦАГИ), во главе которого был выдающийся русский ученый Николай Егорович Жуковский (1847-1921).

Эти институты оказали огромное влияние на развитие физики в России. Они, в особенности выделившийся из Рентгенорадиологического института Ленинградский

физико-технический институт, стали центрами молодой советской физики и рассадниками научных кадров. Достаточно сказать, что из физико-технического института возникли такие крупные научные институты, как Институт химической физики АН СССР (организатор и руководитель академик Н. Н. Семенов), Институт атомной энергии АН СССР (организатор и руководитель академик И. В. Курчатов) – в Москве, Радиевый институт (руководитель академик В. И. Вернадский), Электрофизический институт (руководитель академик А. А. Чернышев) – в Ленинграде. Ленинградский физико-технический институт был инициатором создания научных институтов в Харькове, Свердловске, Днепропетровске и других городах страны. В развитии советской физики большую роль сыграли съезды русских физиков. В феврале 1919 г. в Петрограде состоялся физический съезд, на котором было принято решение о создании Российской Ассоциации физиков. Ассоциация начала регулярно созывать съезды русских физиков.

Первый съезд был созван в Москве в сентябре 1920 г. Второй собрался в Киеве в 1921 г. Третий съезд состоялся в Нижнем Новгороде в 1922 г. В его организации и проведении большую роль сыграла Нижегородская радиолоборатория.

В 1924 г. в Ленинграде состоялся четвертый съезд русских физиков, ставший, по сути дела, Первым Всесоюзным съездом. В его работе принял участие П. С. Эренфест. Этот съезд, состоявшийся уже после смерти Ленина, завершил трудный период становления советской физики.

Важно отметить, что процесс становления советской физики проходил в труднейших условиях гражданской войны, разрухи, блокады. Ученые голодали, работали в нетопленных лабораториях и кабинетах. Но воодушевленные идеей создания новой науки, они работали с необычайным энтузиазмом. Блокада отрезала советских ученых от зарубежной научной литературы и источников информации. Были закрыты источники поступления научных приборов. Русская отсталая промышленность не могла снабжать научные лаборатории необходимой аппаратурой, ее обычно приобретали от зарубежных фирм. Недостаток научной литературы и оборудования ощущался учеными острее, чем голод и холод. Когда английский писатель Уэллс, приехавший в Советскую Россию в 1920 г., беседовал в Петрограде с советскими учеными, он был поражен тем, что никто из них не жаловался на трудные бытовые условия, но все жадно расспрашивали о последних научных новостях за границей. Они жаловались лишь на недостаток научной информации. Блокада капиталистических держав обрекла русскую науку на информационный голод, и Уэллс это остро почувствовал.

В. И. Ленин и партия делали все возможное, чтобы помочь ученым. Новым институтам оказывалась щедрая поддержка. В своем докладе на годичном собрании Оптического института 15 декабря 1919 г. Д. С. Рождественский отмечал, что Комиссариат по народному просвещению оказал институту огромную помощь в обеспечении необходимой аппаратурой. «Он пошел навстречу идее научно-технического учреждения не только большими, подчас выходящими из всякой нормы средствами, но и активным содействием, в котором фактическое осуществление ставилось всегда выше всякой формы...» Эта поддержка сделала возможным создание института нового типа, в котором соединились научные и технические задачи и как для науки, так и для техники открывались такие возможности, «о которых нам, университетским работникам, не приходилось и мечтать», – говорил Рождественский. В результате напряженной работы советских ученых уже в первые послеоктябрьские годы была создана новая физика с большим диапазоном научных проблем. В тематике исследований советских физиков фигурировали современные проблемы атомной физики, радиоактивности, электроники, радиофизики, физики твердого тела, оптики и спектроскопии, акустики, биофизики, геофизики. Это была наука «сплошного фронта», по меткому выражению С. И. Вавилова. В ее начальной фазе особое развитие получили радиофизика и электроника.

Радиотехника и радиофизика

В истории радиотехники до второй мировой войны отчетливо выделяются два этапа. Первый этап – искровой радиотехники – начинается непосредственно с открытия А. С. Попова. Начальным пунктом второго этапа следует считать изобретение в 1907 г. американским радиотехником Ли де Форестом (1873–1961) электронной лампы – триода, внедрению которого в американскую промышленность и радиотехнику в сильной степени способствовал сам изобретатель, получив от соотечественников титул «отца радио». Действительно, роль электронной лампы в развитии радиотехники трудно переоценить. Уже в 1913 г. Александр Мейснер (1883–1958) разработал генератор незатухающих колебаний с триодом. В годы первой мировой войны электронные генераторы, усилители и приемники начали интенсивно вытеснять искровую технику, и послевоенный период стал этапом электронной радиотехники и радиофизики.

Вторая мировая война стимулировала развитие микроволновой радиотехники и полупроводниковой электроники – третий этап в истории радиотехники.

Молодая советская наука и техника активно разрабатывала электронную радиотехнику. Здесь прежде всего следует отметить заслуги Нижегородской радиолaborатории и ее организатора Михаила Александровича Бонч-Бруевича (1888-1940). Электронные лампы конструкции Бонч-Бруевича обеспечивали развитие советской радиотехники и радиофизики.

Другой тип ламп разрабатывал в Ленинграде Александр Алексеевич Чернышев (1882–1940), один из организаторов Ленинградского физико-технического института, крупный специалист по электротехнике высоких напряжений, впоследствии академик.

Молодая русская радиотехника чтит имя великого изобретателя радио А. С. Попова. В 1925 г. вышел специальный выпуск журнала «Электричество», посвященный А. С. Попову. В статье А. А. Петровского (1873–1942) отмечались заслуги Попова в изобретении радио, рисовался облик ученого и педагога. М. А. Бонч-Бруевич посвятил свою статью рассмотрению свойств и преимуществ коротких волн. В этом же номере рассказывалось и об успехах советского радиовещания.

Н. А. Капцов



Советскую радиотехнику интенсивно развивали И. Г. Фрейман (1890–1929), автор первого советского курса радиотехники; В. П. Вологдин (1881-1953), конструктор машин высокой частоты; О. В. Лосев (1903-1942), открывший еще в 20-х годах транзисторный эффект; М. В. Шулейкин (1884-1939) и многие другие.

III съезд русских физиков в Нижнем Новгороде в значительной мере был посвящен радиофизике и радиотехнике. Вопросы радиофизики и электроники интенсивно разрабатывались в Московском университете в школе В. К. Аркадьева, из которой вышел

известный советский радиофизик академик Б. А. Введенский (1893–1969), в школе В. И. Романова (1880-1954) и Н. А. Кап-цова (1883-1966). С 1925 г. в Московском университете работал Л. И. Мандельштам, создавший мировую школу нелинейных колебаний.

Л. И. Мандельштам возглавил в университете кафедру теоретической физики.

Возникновение советской теоретической физики – один из важных моментов ранней истории советской физики.

Развитие теоретической физики советскими учёными

XIX век не знал разделения физики на экспериментальную и теоретическую. Гельмгольц, Максвелл, Рэлей и другие с одинаковым успехом работали и в экспериментальной и в теоретической физике. Столетов и Умов были также представителями «общей физики». Если у Умова преобладали теоретические работы, то, например, П. Н. Лебедев был чистым экспериментатором, но наряду с этим он выдвигал интересные теоретические идеи о взаимодействии молекул, отталкивательной силе лучеиспускания, магнетизме вращения. Все же в его творчестве преобладал эксперимент, тогда как у Умова преобладала теория.

Теоретическая физика начала выделяться из физики в конце XIX в. М. Планк рассказывал, как настороженно встретили его, теоретика, в Берлине. Чистая теория казалась чем-то экстравагантным для физиков гельмгольцевской и кундтовской школы. Глубокий теоретик Больцман считал разделение физики на теоретическую и экспериментальную временным явлением. Однако усложнение задач физических исследований, возросшая роль теоретических обобщений привели к развитию теоретической физики за рубежом и у нас.

Следует отметить, что советская теоретическая физика явилась (как и вся физика, но теоретическая в особенности) детищем социальной и научной революции, и вождем Октябрьской революции В. И. Ленин, как мы знаем, подверг марксистскому анализу первый этап научной революции. Теория атома, теория относительности, статистическая физика усиленно разрабатывались и за рубежом и в Советской республике. Примечательно, что в Петрограде, находившемся в 1919 г. в полосе гражданской войны, Д. С. Рождественский посвятил свой, упоминавшийся нами доклад 15 декабря 1919 г. теории спектров атомов щелочных металлов, развивая идеи Бора. Доклад Рождественского привлек внимание Бора, и он упоминал о нем в своих работах.

Д. С. Рождественский был организатором и руководителем Атомной комиссии, начавшей свою работу в январе 1920 г. В заседаниях комиссии принимали участие не только физики, но и математики и механики. Так, комиссия слушала доклад известного механика, академика, будущего Героя Социалистического Труда Алексея Николаевича Крылова (1863–1945) «Некоторые замечания о движении электронов в атоме гелия»; механик и математик, работавший в области теории упругости, Николай Иванович Мусхелишвили, будущий президент Грузинской академии наук, делал доклад «Задача о движении электрона, притягиваемого к неподвижному центру (ядру) в постоянном электрическом поле». На заседании Атомной комиссии выступали с докладами математик Я. Д. Тamarin, гидромеханик и метеоролог А. А. Фридман.

Модель атома Бора привлекала математиков и механиков своим сходством с планетарной системой. Методы Гамильтона – Якоби нашли в ней богатое поле приложения. В известной книге немецкого теоретика Арнольда Зоммерфельда «Строение атома и спектры» изложению этих методов было посвящено специальное дополнение. Книга другого немецкого математика, Макса Борна, «Лекции по атомной механике», вышедшая накануне создания квантовой механики, в значительной части была посвящена изложению метода Гамильтона–Якоби, каноническим преобразованиям и квазипериодическим системам. Все это было очень близко специалистам по классической механике и математической физике. В Петербурге со времен Эйлера это направление успешно развивалось в Академии наук, а затем и в Петербургском университете. Исследования по механике и математической физике

оказали существенное влияние на развитие теоретической физики в Петербурге.

Одним из основателей советской теоретической физики был Юрий Александрович Крутков (1890–1952), начавший теоретическую работу в Оптическом институте. В «Трудах Оптического института» появилась его обширная статья по теории адиабатических инвариантов. «Гипотеза квантов, – писал Крутков в этой статье, – обладает той особенностью, что она, несмотря на почти двадцатилетнее существование, вовсе не получила общей формулировки, позволяющей прилагать ее к частным вопросам». Это очень точная характеристика тогдашней квантовой теории.

Гипотеза квантования не вытекала из каких-либо общих соображений, она вносилась в классическую механику как нечто внешнее. «В каждом отдельном случае, – продолжал Крутков, – физическому чутью исследователя предоставлен широкий или, вернее, почти полный произвол. Решение «адиабатической» задачи уменьшает этот произвол настолько, что во многих случаях его можно считать исчезающим».

«Таким образом, – заключает Крутков, – наш метод, не давая, конечно «объяснения» гипотезе квантов, на что он и не может претендовать, дает ей твердое обоснование. Всякая попытка «квантовать» неадиабатические инварианты должна быть без всякого обсуждения отброшена».

Таким образом, развитый Ю. А. Крутковым вслед за П. С. Эренфестом, на которого он ссылается в своей статье, метод адиабатических инвариантов играл существенную роль в развитии квантовой теории до создания квантовой механики.

Проблема теории атома интересовала и другого ленинградского теоретика, работавшего в физико-техническом институте, – Якова Ильича Френкеля.

Я. И. Френкель. Яков Ильич Френкель родился в Ростове-на-Дону 10 февраля 1894 г. Обладая выдающимися способностями, он окончил Петербургский университет за три года (1913–1916) и был оставлен при университете. Уже в 1917 г. он сдал магистерские экзамены, бывшие тогда камнем преткновения для начинающих ученых. В том же, 1917 г. Я. И. Френкель работает в семинаре А. ф. Иоффе (напомним, что Иоффе не был связан с университетом) и публикует ряд статей на тему «Строение атома в свете радиоактивных излучений». Другой работой Френкеля того же года была статья «Об электрическом двойном слое на поверхности твердых тел». Эти две ранние работы как бы предопределили дальнейший научный путь Я. И. Френкеля. Он с успехом занимался атомной и ядерной физикой, проблемой электропроводности металлов и диэлектриков, молекулярной физикой и позднее атмосферным электричеством. Его большая научная работа в различных областях теоретической физики, доставившая ему мировую известность, сочеталась с многогранной педагогической и популяризаторской деятельностью.

С 1918 по 1921 г. Я. И. Френкель жил и работал в Крыму, где подвергался репрессиям со стороны белогвардейцев, захвативших Крым. Вернувшись в 1921 г. в Петроград, он начал работать теоретиком физико-технического института и преподавателем физико-механического факультета Политехнического института. Плодом его педагогической деятельности были известные учебники: «Курс векторного исчисления с приложениями к механике», «Электродинамика», «Волновая механика», «Статистическая физика».

Отметим одно существенное обстоятельство. В дореволюционной России оригинальные учебники для высшей школы имели ограниченный круг читателей, они обычно издавались литографским путем, как пособие для слушателей. Наиболее фундаментальными пособиями были иностранные книги. Так, до появления «Электродинамики» Френкеля и «Основ теории электричества» Тамма русские физики изучали теорию электричества по немецкому курсу Абрагама. Оригинальные русские учебники не были известны за границей. Я. И. Френкель «прорубил окно» не только в Европу, но и в Америку, где он читал лекции. Его «Электродинамика» вышла сначала на немецком языке, «Волновая механика» – на английском. Готовя русский текст, он обычно писал книги заново, расширяя и дополняя материал. Важной особенностью учебников Френкеля была их органическая связь с его собственными научными исследованиями. Это

особенно отмечается в «Электродинамике», которой предшествовал цикл статей Френкеля по динамике точечных электронов. Вполне оправданным явилось включение ее в академическое собрание трудов Френкеля. Но и «Статистическая физика» и «Волновая механика» представляют по сути дела оригинальные научные труды Френкеля. Последняя его монография – «Кинетическая теория жидкостей» (1945) ныне считается основополагающим трудом по теории жидкостей.

Столь же тесно связаны с научным творчеством Френкеля и его популярные книги и статьи. В 20-х годах вышли его книги «Строение материи», «Электрическая теория твердых тел», «Электричество и материя». Здесь в популярной форме излагались глубокие научные идеи Френкеля: идея «коллективизированных» электронов, объясняющая существование гомеоплярных молекул и электропроводности металлов, идея «дырок» («дефекты по Френкелю»), ставшая в своем развитии плодотворной идеей современной теоретической физики.

Для научного мышления Френкеля характерно сочетание необычайно физических модельных представлений с глубокой математической разработкой этих представлений. Мышление Френкеля было подлинно «физическим», и этим оно существенно отличалось от «математичности» современных теоретиков. По типу своего научного мышления Френкель был близок Эйнштейну и ферми.

Плодотворная, многосторонняя научная деятельность Я. И. Френкеля, одного из основателей советской теоретической физики, оборвалась 23 января 1952 г.

Остановимся на другом представителе советской теоретической физики – механике и метеорологе А. А. Фридмане.

Александр Александрович Фридман родился в Петербурге 17 июня 1888 г. Окончив в 1910 г. Петербургский университет, он был оставлен при университете для подготовки к профессорскому званию. С этого же года А. А. Фридман начал педагогическую деятельность, работая преподавателем математики в Петербургском институте инженеров путей сообщения.

Учитель Фридмана Владимир Андреевич Стеклов (1864–1926) был одним из крупнейших специалистов по математической физике и дифференциальным уравнениям. С 1919 г. он был вице-президентом Академии наук и одним из первых ученых начал сотрудничать с Советской властью. Он был организатором физико-математического института Академии наук, из которого в 1934 г. возникли два института: физический институт АН СССР имени П. Н. Лебедева и Математический институт АН СССР имени В. А. Стеклова.

В 1913 г. А. А. Фридман сдал магистерские экзамены и начал заниматься динамической и синоптической метеорологией в Аэрологической обсерватории в Павловске. С этого же года начали публиковаться его метеорологические работы.

В годы первой мировой войны Фридман служил в действующей армии летчиком-наблюдателем. В армию он пошел добровольцем и возглавил здесь аэронавигационную службу. Им были составлены таблицы по бомбометанию и налажено обучение летчиков-наблюдателей.

После революции А. А. Фридман преподает в Пермском университете, а с 1920 г. работает старшим физиком Главной геофизической обсерватории. После организации физико-механического факультета А. ф. Иоффе пригласил Фридмана читать курс механики на этом факультете.

В 1922 г. вышел фундаментальный труд А. А. Фридмана «Опыт гидродинамики сжимаемой жидкости», ставший его докторской диссертацией. В том же году была опубликована его статья «О кривизне пространства». За этой статьей последовала статья «О возможности мира с постоянной отрицательной кривизной» и статья, опубликованная в «Журнале Русского физико-химического общества» за 1924 год «О кривизне мира». В 1923 г. вышла книга Фридмана «Мир как пространство и время». Затем А. А. Фридман в содружестве с другим петербургским теоретиком – В. К. фре-дериксом готовит курс по

теории относительности. Но смерть Фридмана, последовавшая 16 сентября 1925 г., оборвала работу над этим курсом. Вышла только первая часть, содержащая тензорное исчисление.

А. А. Фридмана в теоретическую физику являются его работы о кривизне Вселенной. В своей работе 1917 г. «Вопросы космологии и общая теория относительности» Эйнштейн написал космологическое релятивистское уравнение и дал его решение, соответствующее постоянной положительной кривизне Вселенной (стационарное решение). Это решение интерпретировалось многими как свидетельство конечности Вселенной. Фридман резко выступил против этого утверждения, показав, что оно никак не вытекает из метрики мира. В своей книге «Мир как пространство и время» он писал: «Одна метрика мира не дает нам никакой возможности решить вопрос о конечности Вселенной. Для решения этого вопроса нужны дополнительные теоретические и экспериментальные исследования».

В работе 1922 г. Фридман, анализируя уравнение Эйнштейна, показал, что существуют не только стационарные решения, но и нестационарные, в которых кривизна Вселенной зависит от времени. Эйнштейн быстро реагировал на статью Фридмана, опубликованную в «Zeitschrift für Physik», и уже в следующем номере журнала опубликовал заметку, в которой утверждал, что выводы Фридмана ошибочны. Фридман тщательно проанализировал аргументы и вычисления Эйнштейна и нашел в них ошибку. Ю. А. Крутков во время заграничной поездки посетил Эйнштейна и информировал его о выводе Фридмана. Эйнштейн вынужден был признать свою ошибку.

В 1945 г. Эйнштейн, готовя новое издание своих лекций по теории относительности (они были переведены позднее на русский язык под заглавием «Сущность теории относительности»), добавил параграф «О космологической проблеме», где рассказал о трудностях проблемы и указал, что выход из этих трудностей был найден Фридманом. «Его результат, – писал Эйнштейн, – затем получил неожиданное подтверждение в открытом Хабблом расширении звездной системы, в красном смещении спектральных линий, которое растет с расстоянием». Эйнштейн резюмирует далее: «Одно уже требование пространственной изотропии Вселенной приводит к схеме Фридмана. Не вызывает поэтому никаких сомнений, что это наиболее общая схема, дающая решение космологической проблемы».

Это явное свидетельство того, что молодая советская теоретическая физика уже в годы своего становления вышла на передовые рубежи мировой науки.

В Москве проблемами теоретической физики занимался рано умерший профессор Московского университета Сергей Анатольевич Богуславский (родился 1 декабря 1883 г., умер 3 сентября 1923 г.). Его интересовали проблемы электроники, статистической физики и теории атома. Данный им вывод зависимости термоэлектронного тока от напряжения на сетке (формула Лэнгмюра) позволяет считать найденную закономерность законом Лэнгмюра – Богуславского. Богуславский разрабатывал также теорию пироэлектрических явлений. Его диссертация «Основы молекулярной физики и применение статистики к вычислению термодинамических потенциалов» была важным вкладом в статистическую термодинамику, несмотря на некоторые ошибочные утверждения.

С. А. Богуславский развил метод расчета движения электронов в электрических и магнитных полях, предвосхищая будущие потребности электроники и физики плазмы. Но его монография «Пути электронов в электромагнитных полях» была опубликована только спустя шесть лет после его смерти.

К числу молодых советских теоретиков, работавших в годы становления советской физики, относится будущий академик и Герой Социалистического Труда Игорь Евгеньевич Тамм и будущий академик, Герой Социалистического Труда Владимир Александрович Фок, который еще студентом принимал участие в работе Атомной комиссии Рождественского.

Таким образом, в трудные годы становления советской науки начала создаваться советская теоретическая физика, превратившаяся в наши дни в мощный отряд современной теоретической физики.

Развитие других направлений советской физики

Что касается других направлений советской физики, то мы ограничимся краткими сведениями об основателях советской физики. Естественно, что при этом будут опущены многие имена. Так, мы не будем говорить об известном кристаллофизике Юрии Викторовиче Вульфе и руководителе семинара по молекулярной физике в Московском университете Борисе Владимировиче Ильине (1888–1964) и отошлем читателя за подробностями к книге «Основатели советской физики» (М.: Просвещение, 1970).

П. П. Лазарев. Петр Петрович Лазарев родился 4 апреля 1878 г. в Москве в семье инженера-геодезиста. По окончании гимназии в 1896 г. он поступил на медицинский факультет Московского университета. Изучая медицину, он одновременно увлекся физикой и слушал лекции по физике на физико-математическом факультете у Н. А. УМО-ва и П. Н. Лебедева. Он посещал коллоквиум по современным проблемам физики, которым руководил П. Н. Лебедев. Лебедев обратил внимание на пытливого студента-медика, который по окончании в 1901 г. медицинского факультета поступил на физико-математический факультет и закончил его за два года. В 1903 г. Лазарев, окончив второй факультет, сдал докторантские экзамены по медицине и был назначен ассистентом университетской клиники болезней уха, горла и носа.

В клинике Лазарев в том же, 1903 г. выполнил свою первую научную работу «Звучание манометрического пламени». Следующая работа 1905 г. была уже физиологическая – «О взаимодействии влияния органов зрения и слуха».

В 1905 г. П. П. Лазарев, уже побывавший за границей и ознакомившийся с постановкой научной работы в европейских университетах, поступает в лабораторию П. Н. Лебедева. Здесь он ведет исследование скачка температур между стенкой и разреженным газом, прилегающим к стенке. Наличие такого скачка было теоретически предсказано М. Смолуховским. П. П. Лазарев разработал остроумную экспериментальную установку, позволяющую определить зависимость скачка от давления газа. Это исследование было в 1911 г. защищено Лазаревым как магистерская диссертация. В том же, 1911 г. П. П. Лазарев вместе со своим учителем П. Н. Лебедевым и другими видными профессорами Московского университета покинул университет в знак протеста против действий реакционного министра просвещения Кассо.

П. П. Лазарев занял кафедру в городском народном университете имени А. Л. Шанявского. Это было частное учебное заведение, организованное на средства А. Л. Шанявского. Здесь П. П. Лазарев развернул фотохимические и биофизические исследования, а также принял активное участие в проектировании и строительстве физического института. Свои фотохимические исследования П. П. Лазарев защитил в 1912 г. в ученом совете Варшавского университета.

Исследования по фотохимии естественным образом подвели П. П. Лазарева к фотохимическим реакциям в глазу (выцветание зрительного пурпура). Это, в свою очередь, привело П. П. Лазарева к созданию ионной теории возбуждения нервов. Ионная теория возбуждения принесла Лазареву широкую известность, и 4 марта 1917 г. он был избран действительным членом Академии наук.

В январе 1917 г. вступило в строй здание физического института на Миуссах. В этом здании после Октябрьской революции развернулась плодотворная научная деятельность Института биологической физики, руководимая академиком П. П. Лазаревым. Этот институт стал одним из центров молодой советской физики. Отсюда вышли видные советские ученые, будущие академики: С. И. Вавилов, Г. А. Гамбурцев, М. В. Шу-лейкин, П. А. Ребиндер; видные советские оптики и акустики: В. Л. Левшин, П. Н. Беликов, С. Н. Ржевкин; крупные советские специалисты по молекулярным явлениям: А. С. Предводителев, Б. В. Ильин, Б. В. Дерягин и другие.

П. П. Лазарев



Институт был инициатором исследования Курской магнитной аномалии. Эти исследования, поддерживаемые В. И. Лениным, увенчались в наши дни разработкой крупнейших запасов высококачественной руды.

П. П. Лазарев развернул и широкую издательскую деятельность. С 1918 г. начал выходить журнал «Успехи физических наук», дающий новейшую информацию о важнейших достижениях физической науки. Бессменным редактором «Успехов» после Лазарева являлся его ученик, видный советский рентгенофизик Э. В. Шпольский, активно помогавший П. П. Лазареву в осуществлении издательских планов. П. П. Лазарев организовал издание серии «Проблемы современного естествознания», в которой выходили работы Э. Резерфорда, Н. Бора, В. Л. и В. Г. Брэггов, Ж. Перрена, К. фаянса и других. Им была предпринята попытка издания серии «Классики естествознания», в которой выходили труды М. В. Ломоносова, П. Н. Лебедева, Д. И. Менделеева, И. Ньютона, Г. Гельмгольца, О. Френеля и других. В осуществлении этих серий большую роль играли молодые советские физики С. И. Вавилов, Э. В. Шпольский, В. К. Фредерике, В. А. Фок и другие, переводившие и комментировавшие издаваемые труды.

Неустанная деятельность П. П. Лазарева оборвалась в годы войны в Алма-Ате, где он умер 24 апреля 1942 г.

Другим физическим центром стал Московский университет, куда вернулись В. К. Аркадьев, А. К. Тимирязев и другие ученики П. Н. Лебедева.



Рис. 73. В. К. Аркадьев в лаборатории П.Н. Лебедева

В. К. Аркадьев. Владимир Константинович Аркадьев родился в Москве 21 апреля 1884 г. Еще в гимназии он увлекся физикой, изготовлял самодельные приборы и экспериментировал с ними. Поступив в Московский университет, он еще первокурсником пришел к П. Н. Лебедеву с планом опыта по определению движения Земли через эфир. Лебедев посоветовал юноше пройти предварительно физический практикум у профессора А.

П. Соколова, а затем прийти к нему в лабораторию. Аркадьев так и поступил и в лаборатории Лебедева сделал важное открытие сильного уменьшения ферромагнитных свойств железа в области сантиметровых волн. Это открытие определило его дальнейший научный путь, он стал изучать поведение ферромагнитных веществ в высокочастотных полях и обнаружил ферромагнитный резонанс. По аналогии с электрической дисперсией, в которой исследуется отношение вещества к электрическому вектору электромагнитной волны, Аркадьев изучил магнитную дисперсию, в которой исследуется отношение вещества к магнитному вектору электромагнитной волны. Изучаемую им область он назвал магнитной спектроскопией.



В. К. Аркадьев

Описание поведения вещества в переменном электромагнитном поле заставило Аркадьева обобщить уравнения Максвелла и наряду с известными тремя коэффициентами:

диэлектрической проницаемостью ϵ , магнитной проницаемостью μ и электрической проводимостью ρ – ввести четвертую характеристику – магнитную проводимость ρ , описывающую тепловые потери в ферромагнетике в переменных полях. Среду, описываемую этими четырьмя коэффициентами, Аркадьев назвал бикомплексной. Известно, что в электрической теории дисперсии наличие поглощения описывается комплексным показателем преломления, такой же комплексный показатель преломления вводится и в магнитной спектроскопии, и это объясняет введенный Аркадьевым термин «биоконплексная среда».

В университете Шанявского, где Аркадьев работал после ухода вместе с Лебедевым из университета, он осуществил эффектные опыты по фотографированию различных случаев дифракции Френеля. Полученные им фотографии, опубликованные в «Журнале Русского физико-химического общества» и в «Physikalische Zeitschrift» за 1912 г., вошли в руководства по физике у нас и за рубежом. Там же он в сотрудничестве с Баклиным построил «генератор молнии», предшественник будущих высоковольтных ускорителей.

Вернувшись после революции в университет, В. К. Аркадьев развернул большую научную работу по изучению явлений магнетизма. Им были организованы научный кружок «Магнитный коллоквиум» и лаборатория магнетизма. В этой лаборатории его жена А. А. Глаголева-Аркадьева получила в 1922 г. короткие электромагнитные волны, сомкнувшие область электромагнитных и инфракрасных колебаний, с помощью так называемого массового излучателя.

А. А. Глаголева-
Аркадьева



Александра Андреевна Глаголева-Аркадьева родилась 28 февраля 1884 г. По окончании в 1910 г. математического отделения Высших женских курсов в Москве она работала ассистентом кафедры физики. Ее первые работы относятся к рентгентехнике. В годы войны она разработала конструкцию прибора – рентгеностереометра, позволявшего определять глубину залегания пуль, осколков и т. п. в теле.

Массовый излучатель Глаголевой-Аркадьевой представляет собой сосуд, наполненный металлическими опилками, находящимися в машинном масле. Специальная мешалка размешивает массу, в которую особым колесиком подводится напряжение от индуктора, и между зернами опилок происходят многочисленные искровые разряды, генерирующие электромагнитные волны. «Полученные от массового излучателя волны, – писала в 1924 г. Глаголева-Аркадьева, – налагаются с одной стороны на рабочие короткие электромагнитные волны Риги, Аркадьева, Мебиуса, Лебедева, Никольса и так до 4–2 мм, а с другой стороны – на рабочие длинные тепловые волны Рубенса в 343,218 ц ($1 \text{ микрон} (\mu) = 10^{-6} \text{ м.}$) и менее и, следовательно, заполняют ту область шкалы электромагнитных волн, в

которой электромагнитные колебания могли наблюдаться до сих пор с величайшим трудом».

А.А. Глаголева-Аркадьева работала над усовершенствованием своего массового излучателя и методики измерения с ним до конца своей жизни. Умерла она 30 октября 1945 г.

В. К.Аркадьев воспитал целую плеяду советских магнитологов и радиофизиков. Из его школы вышли радиофизики Б. А. Введенский, К. ф. Теодорчик, Н.Н. Малов и другие; магнитологи Н.С. Акулов, Е.И. Кондорский и многие другие.

Исследования В. К. Аркадьева по магнитной спектроскопии стали предшественниками будущих радиоспектроскопических исследований Но В.К.Аркадьев тщательно изучал поведение ферромагнетиков и в постоянных полях. Для описания намагничивания он ввел магнитные коэффициенты формы, вещества и тела. Исследования В. К. Аркадьева были обобщены им в монографии «Электромагнитные процессы в металлах», первая часть которой вышла в 1934 г., вторая – в 1936 г.

В. К. Аркадьев и его сотрудники раз работали электромагнитный аналог фотографии, названный ими «стиктография». Электромагнитная теория света Максвелла была основным направлением его научной деятельности, и он стремился провести параллель электромагнитных и оптических колебаний до последних деталей. В. К. Аркадьев умер 1 декабря 1953 г.

А.К.Тимирязев. Среди московских физиков в первые годы после Октября ведущую роль играл Аркадий Климентьевич Тимирязев.



А. К. Тимирязев

А. К. Тимирязев родился 19 октября 1880 г. в Москве. Он был сыном выдающегося русского ботаника Климента Аркадьевича Тимирязева.

В своих исследованиях по физиологии растений К. А. Тимирязев широко применял методы и выводы физики и высоко ценил эту науку. Он хотел, чтобы его единственный сын стал физиком. Друзьями К. А. Тимирязева были ведущие физики Московского университета

А. Г. Столетов и П. Н. Лебедев. Будущий физик уже с гимназических времен испытал благотворное влияние этих ученых. После окончания гимназии он поступил на математическое отделение Московского университета, где избрал своей специальностью физику, и начал работать у П. Н. Лебедева. Другим учителем А. К. Тимирязева был ученик Столетова Николай Петрович Кастерин (1869–1947). Из зарубежных физиков наибольшее влияние на Тимирязева оказал Д.Д.Томсон, с которым его познакомил отец в 1909 г. во время поездки в Кембридж на юбилей Дарвина.

Мировоззрение А. К. Тимирязева складывалось под глубоким влиянием отца,

которого он любил и перед которым преклонялся. Огромное влияние оказали на него и его учителя.

А.К. Тимирязев был убежденным материалистом типа Д. Д.Томсона и Л.Больцмана, которого он также высоко ценил и основательно изучал.

Научная деятельность А. К. Тимирязева началась в области кинетической теории газов, которая была главным предметом его преподавания в течение многих лет. Его книга «Кинетическая теория материи», составленная из лекций, читаемых в Московском университете в 1917–1918 гг., первое издание которой вышло в 1923 г., была первым советским учебником по этому предмету. Она ярко характеризует мировоззрение и научные симпатии автора.

Предметом исследования Тимирязева были явления в разреженных газах: внутреннее трение и температурный скачок. Тимирязев исследовал связь между коэффициентом скольжения и температурным скачком теоретически, пользуясь теорией Максвелла, и экспериментально в области давления от 760 до 0,001 мм рт. ст. Он установил в соответствии с исследованиями Кундта и Варбурга, что при больших разрежениях появляется скольжение, пропорциональное длине свободного пробега и, следовательно, обратно пропорциональное давлению:

$$a = a_0/p = c\lambda$$

Величина a_0 связана с температурным скачком простым соотношением:

$$a_0 = (8/15) \gamma$$

Опыты с воздухом и углекислотой подтвердили эти расчеты. Исследование Тимирязева было опубликовано на немецком языке в 1913 г. и в 1914 г. было представлено в Петербургский университет в качестве магистерской диссертации. Оппоненты О. Д. Хвольсон и Н. А. Булгаков дали работе высокую оценку, и Тимирязев получил ученую степень магистра.

После Октября он и его отец безоговорочно приняли сторону Советской власти, что вызвало к ним враждебное отношение значительной части профессуры. А. К. Тимирязев активно включился в работу по перестройке высшей школы на новых, социалистических началах. Он был одним из организаторов и первых преподавателей рабочих факультетов, членом нового правления университета, членом Государственного ученого совета Наркомпроса. В 1921 г. он был принят в партию решением ЦК без кандидатского стажа. С 1922 г. он возглавлял физическую предметную комиссию физико-математического факультета.

В университете он читал курсы «Введение в теоретическую физику», «Кинетическая теория материи» и руководил семинаром по статистической физике. Из этого семинара вышли ряд видных советских физиков: М. А. Леонтович, А. А. Андронов, А. А. Витт, В. Л. Грановский и другие. А. К. Тимирязев вел также большую популяризаторскую работу. Им, в частности, была прочитана первая в Советской России лекция о внутриатомной энергии. Популяризируя достижения ведущих современных физиков – Бора, Резерфорда, Эйнштейна, Планка, – Тимирязев, однако, критически относился к теории относительности, разделяя отношение к ней Д. Д. Томсона и своего учителя Н. П. Кастерина.

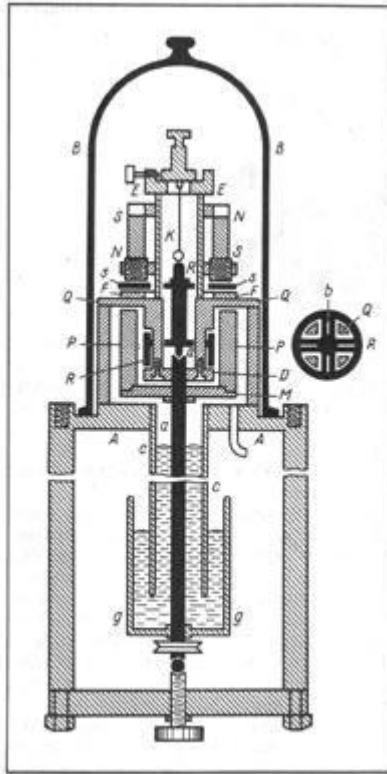


Рис. 74. Схема установки А.К. Тимирязева по внутреннему трению в разреженных газах

В последние годы жизни А. К. Тимирязев руководил кафедрой истории физики. Ему принадлежит ряд статей о М. В. Ломоносове, А. Г. Столетове, П. Н. Лебедеве и других ученых. Он был редактором трехтомного собрания сочинений А. Г. Столетова, избранных трудов (в одном томе) А. Г. Столетова и П. Н. Лебедева. Под его редакцией вышла книга «Очерки по истории физики в России», «История физики» П. С. Кудрявцева (т. I, 1948).

Умер А. К. Тимирязев 15 ноября 1955 г.

Л. И. Мандельштам. Леонид Исаакович Мандельштам родился 4 мая 1879 г. Детство и юность его прошли в Одессе, где он поступил в университет. Однако пребывание его в Новороссийском университете было недолгим: за участие в студенческих «беспорядках» он был исключен с первого курса. В том же, 1899 г., когда он был исключен из университета, он уехал в Страсбург, где учился у Карла фердинанда Брауна (1850-1918).

Л. И. Мандельштам



Время пребывания Л. И. Мандельштама в Страсбурге – это годы развития молодой радиотехники, бывшей в то время «искровой». Генератором колебаний была электрическая искра, детектором был по преимуществу когерер. Браун в 1906 г. изобрел кристаллический детектор. Л. И. Мандельштам принял активное участие в разработке проблем радиотехники.

Это было особенно важно потому, что, как писал друг и сотрудник Мандельштама Н. Д. Папалек-си (1880–1947), «физическая сторона процессов в радиопередатчике и радиоприемнике была в то время еще совершенно не ясна».

Л. И. Мандельштам уже в ранние годы своей деятельности сделал фундаментальное открытие о свойствах слабой связи между антенной и колебательным контуром. В то время как считалось необходимым всемерно усиливать эту связь, Л. И. Мандельштам показал, что для улучшения приема и повышения селективности приемника необходимо, наоборот, ослабить эту связь. В 1902 г. Мандельштам защищает докторскую диссертацию «Определение периода колебательного разряда конденсатора». Он участвует вместе с Брауном в лабораторных и технических исследованиях радиоустройств, изготавливаемых фирмой «Сименс и Гальске» по схеме Брауна. С 1903 г. он работает ассистентом физического института в Страсбурге и руководит исследованиями докторантов и начинающих ученых, приезжающих в Страсбург.

Наряду с радиотехникой и радиофизикой его внимание привлекает оптика. Он анализирует теорию Рэлея о молекулярном рассеянии света и приходит к выводу, что для оптически однородной среды она неверна – нельзя объяснить голубой цвет неба рассеянием солнечных лучей молекулами воздуха, оптически однородная среда не является мутной и рассеяния не происходит.

Дело объясняется тем, что существуют флуктуации плотности воздуха, которые и обуславливают оптическую неоднородность среды. Теория рассеяния света стала в дальнейшем одной из ведущих тем научног творчества Л. И. Мандельштама, приведшей его к открытию новых нерэлеевских форм рассеяния.

Атмосфера надвигающейся войны заставила Л. И. Мандельштама покинуть Германию и вернуться в Россию. Он работал в Одессе, Петрограде, снова в Одессе и в 1922 г. переехал в Москву в качестве консультанта Центральной радиолaborатории (ЦРЛ). В 1925 г. он был избран заведующим кафедрой теоретической физики Московского университета. Здесь он развернул активную научно-педагогическую деятельность, разрабатывая новую научную область нелинейной теории колебаний. Им была создана школа, разрабатывающая эту область. А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин, М. А. Леонтович и другие внесли существенный вклад в исследование нелинейной теории, обеспечив ведущее место школы Мандельштама не только в СССР.

Наряду с нелинейной теорией колебаний Мандельштам разрабатывал проблемы оптики, которые в 1928 г. привели его и Г. С. Ландсберга к открытию «раман-эффекта», названного так по имени индийского физика Рамана, опубликовавшего свое открытие раньше Мандельштама и Ландсберга.

В 1929 г. Мандельштам был избран действительным членом Академии наук СССР. Здесь он развернул совместно с Н. Д. Папалекси интенсивную работу по нелинейным колебаниям и распространению радиоволн.

Они разработали параметрический метод генерирования колебаний, радиоинтерференционный метод измерения расстояний.

Мандельштам умер 27 ноября 1944 г

Обратимся теперь к Петрограду, вернувшись к первым годам Советской власти. Именно в Петрограде начали свое развитие те направления современной физики, которые определили характер научной революции в физике. Главным образом благодаря Петрограду советская физика сформировалась как детище двух революций: социальной и научной. В Москве сказывалось давление научных традиций А. Г. Столетова и П. Н. Лебедева, восходивших своими корнями к Максвеллу и Гельмгольцу. Петербург был свободен от этих

традиций. Дореволюционная петербургская физика была представлена в Академии наук Б. Б. Голицыным, который занимался вопросами сейсмологии, и в университете О. Д.

Хвольсоном (1852–1934), создателем известного «Курса физики».

Основателями советской физики в Петрограде были организатор физико-технического института А. Ф. Иоффе и организатор Оптического института Д. С. Рождественский.

А. Ф. Иоффе. Абрам Федорович Иоффе родился 29 октября 1880 г. в г. Ромны . Полтавской губернии. По окончании Роменского реального училища он поступил в Петербургский технологический институт.

А. Ф. Иоффе



Но карьера инженера не привлекала будущего физика, и по совету своего учителя Н. А. Гезехуса он уезжает в 1902 г. в Германию, в Мюнхен, где в то время профессором физики был знаменитый Рентген.

Здесь А. Ф. Иоффе прошел физический практикум, выполнил ряд исследований по заданию Рентгена и, наконец, уже в качестве ассистента Рентгена начал изучать пьезоэлектрические свойства кварца. В связи с этим Иоффе исследовал упругое последствие. В ходе исследования Иоффе облучал кристалл рентгеновскими лучами и наблюдал изменение электропроводности.

Особенно важным было открытое Иоффе повышение электропроводности каменной соли, предварительно облученной рентгеновскими лучами, под действием света. Этим заинтересовался и Рентген, вообще недоверчиво относившийся к электронным идеям Иоффе, и исследовал вместе с Иоффе это явление.

А. Ф. Иоффе показал, что в однородном кристалле никакого упругого последствия не существует. Оно обязано своим происхождением неоднородности кристалла. Диссертацию «Упругие последствия в кристаллическом кварце» А. Ф. Иоффе защитил 5 июня 1905 г. с наивысшей похвалой. (*Заграничная степень доктора примерно соответствует теперешней кандидатской. Она не принималась во внимание в России. А. Ф. Иоффе пришлось защищать в России магистерскую и докторскую диссертации.*) Рентген высоко оценил способности Иоффе и предложил ему остаться в Мюнхене в должности профессора. Но Иоффе уехал в Россию. Здесь ему предоставили должность старшего лаборанта кафедры физики Петербургского политехнического института, причем почти два года он работал внештатным лаборантом, и лишь 1 апреля 1908 г. был утвержден штатным старшим лаборантом.

Научные интересы А. Ф. Иоффе в это время сосредоточиваются вокруг квантовой теории света и элементарного фотоэффекта. Вместе с тем он продолжает исследования упругих и электрических свойств кварца. А. Ф. Иоффе впервые измерил магнитное поле

движущихся электронов (катодных лучей) и усовершенствовал метод измерения электрического заряда, применив не капли масла, как у Милликена, а пылинки fotocувствительного металла.

Результаты исследования магнитного поля катодных лучей и элементарного фотоэффекта были обобщены в магистерской диссертации А. ф. Иоффе, которую он блестяще защитил 9 мая 1913 г. После защиты он стал экстраординарным профессором Политехнического института и через два года (30 апреля 1915 г.) защитил докторскую диссертацию «Упругие и электрические свойства кристаллов». Став ординарным профессором, А. ф. Иоффе развернул большую научную и педагогическую деятельность. Им был организован Семинар по современным вопросам физики. Участники этого семинара – П. Л. Капица, Н. Н. Семенов, П. Н. Лу-кирский, Н. Н. Добронравов, Я. И. Френкель, Я. Г. Дорфман, М. В. Кирпичева и другие – образовали ядро будущего физико-технического института и вошли в историю советской физики как ее ведущие деятели.

После Октябрьской революции деятельность А. ф. Иоффе приобрела особый размах. К его таланту ученого и педагога прибавился талант организатора науки, который не мог проявиться в царской России. Вместе с Михаилом Исаевичем Неменовым, ученым-медиком, он организует в Петербурге Рентген орадиологический институт с двумя отделами – физико-техническим и медико-биологическим. Директором первого отдела стал А. ф. Иоффе, второго – М. И. Неменов. Институт был организован осенью 1918 г. В том же году А. ф. Иоффе был избран членом-корреспондентом Академии наук. В 1920 г. он был избран академиком. В 1921 г. Рентгенорадиологический институт был разделен на три самостоятельных института: Рентгенологический и радиологический институт, физико-технический институт, Радиевый институт.

Таким образом, с 29 ноября начал свою работу возглавляемый академиком А. ф. Иоффе физико-технический институт, ныне Ленинградский физико-технический институт им. А. ф. Иоффе. Этот институт стал крупным центром современной физики в Советской России. Из стен его вышли будущие академики и руководители институтов: академик П. Л. Капица – основатель Института физических проблем АН СССР, лауреат Ленинской и Нобелевской премий, академик Н. Н. Семенов – основатель Института химической физики АН СССР, лауреат Ленинской и Нобелевской премий, академик Л. Д. Ландау – лауреат Ленинской и Нобелевской премий, академик И. В. Курчатов – основоположник советской ядерной науки и техники, основатель Института атомной энергии, ныне носящего его имя, и многие другие видные ученые СССР.

Ведущей научной темой самого А. ф. Иоффе была физика твердого тела. Он изучал механические и электрические свойства кристаллов, и в последние годы его интересы сосредоточились на физике и технике полупроводников. В 1954 г. им был организован Институт полупроводников, директором которого он был до самой своей смерти, последовавшей 14 октября 1960 г., за две недели до его 80-летия, которое широко собиралась отмечать вся научная общественность.

Д. С. Рождественский. Вторым основоположником советской физики в Петербурге был Дмитрий Сергеевич Рождественский. А. ф. Иоффе представлял Политехнический институт, Д. С. Рождественский был питомцем университета.

Д. С. Рождественский



Дмитрий Сергеевич Рождественский был коренным петербуржцем. Он родился в Петербурге 7 апреля 1876 г. в семье преподавателя гимназии. Окончив в 1894 г. с серебряной медалью гимназию, он поступил на естественное отделение физико-математического факультета Петербургского университета, но вскоре перешел на математическое отделение, которое окончил в 1900 г. по специальности "физика".

Проработав затем в течение года в Военно-медицинской академии в должности лаборанта, он уехал в Германию для подготовки к профессорскому званию, как было принято в те годы. Вернувшись, он работает лаборантом Петербургского университета, но затем опять уезжает за границу, на этот раз в Париж. Он работает в Парижском университете с 1907 по 1910 г. и возвращается в Петербург сложившимся ученым с определенным научным направлением. Его интересы сосредоточиваются на оптике, а именно на исследовании аномальной дисперсии.

Знаменитые опыты Ньютона с дисперсией света познакомили физиков с основным фактором, обуславливающим дисперсию света, зависимость показателей преломления от цветности луча. Успехи волновой оптики привели к численной характеристике цветности света – длине волны, и закон, открытый Ньютоном, означал на языке волновой теории, что показатель преломления является функцией длины волны: $n = f(\lambda)$.

Ньютон нашел качественное выражение этого закона: показатель преломления возрастает от красного конца спектра к фиолетовому. На языке волновой оптики это означает, что показатель преломления возрастает с уменьшением длины волны. Такая дисперсия получила впоследствии название нормальной.

«До 1870 г., – писал Д.С.Рождественский в своей классической работе «Аномальная дисперсия в парах натрия», – экспериментаторов интересовал исключительно нормальный ход дисперсии в прозрачных средах. Известен был, правда, опыт Леру, указавший на увеличение показателя преломления при возрастании длины волны внутри полосы поглощения, но этот факт не обратил на себя особенного внимания исследователей. С 1870 по 1875 г. опытами Христиансена и Кундта связь между аномальной дисперсией и поглощением была установлена с неоспоримостью».

Датский физик К. Христиансен, впоследствии учитель Бора, наблюдал в 1870, 1871 и 1872 гг. аномальную дисперсию в призме, заполненной раствором фуксина (Леру наблюдал аномальную дисперсию в 1862 г. в парах иода). За Христиансеном исследовал дисперсию целого ряда красящих веществ учитель П. Н. Лебедева Август Кундт. Он установил, что перед каждой полосой поглощения, если к ней приближаться со стороны длинных волн, показатель преломления резко возрастает. В дальнейшем Кундту удалось наблюдать аномальную дисперсию в парах натрия (1880), используя метод скрещенных призм,

предложенный еще Ньютоном. Второй призмой при этом служил кусочек натрия в пламени бунзеновской горелки. В 1871 г. В. Зеллмейер (1836–1904) дал теорию дисперсии, объясняющую и аномальную дисперсию. Основная идея теории Зеллмейера состояла в учете влияния резонирующих молекул, вкрапленных в эфир, на скорость распространения световой волны. Эта же идея была разработана с электромагнитной точки зрения Гельмгольцем, Друде, фогтом, Лоренцем, Планком и привела в конечном счете к формулам:

$$n^2 - k^2 = 1 + \sum \frac{a(\lambda^2 - \lambda'^2)\lambda^2}{(\lambda^2 - \lambda'^2)^2 + b^2\lambda^2},$$

$$2nk = \sum \frac{ab\lambda^3}{(\lambda^2 - \lambda'^2)^2 + b^2\lambda^2},$$

где n – показатель преломления, k – коэффициент поглощения, константы a , b , λ' меняются от слагаемого к слагаемому и в разных теориях имеют несколько различные значения.

Из экспериментаторов наибольших успехов добился американский оптик Роберт Вуд (1868–1955), построивший кривую паров натрия (1902–1904), используя метод скрещенных призм.

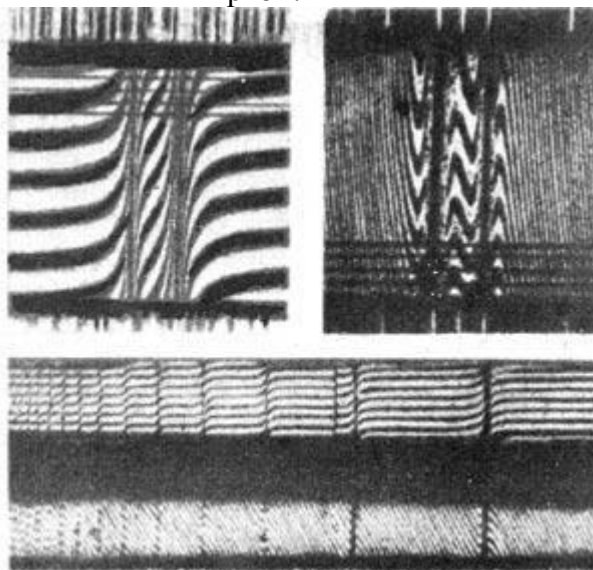


Рис. 75. Фотографии 'крюков'

Д. С. Рождественский развил метод скрещенных интерферометра и спектроскопа, предложенный итальянским физиком Пуччианти в 1901 г. Он указал, что «этот метод, простой, элегантный и чувствительный, был предложен в 1875 г. Е. Махом и применялся (только качественно) Г. Ознобишиным». «Но этот путь, – как пишет Рождественский далее, – был забыт, и через 30 только лет, не зная, по-видимому, об опытах Маха и Ознобишина, его вновь применил Пуччианти».

Д. С. Рождественский видоизменил и усовершенствовал установку Пуччианти. Введя в интерферометре на пути одного из интерферирующих пучков стеклянную пластинку, он добился изгибания полос в области поглощения, что позволило судить о ходе показателя преломления внутри самой области поглощения («метод крюков»). Знаменитые фотографии крюков, сделанные Рождественским, привлекли внимание выдающихся оптиков мира – Р.

Вуда, П. Друде, А. Маикельсона, высоко оценивших метод Рождественского.

Работа «Аномальная дисперсия в парах натрия», вышедшая в 1912 г., была представлена Рождественским в ученый совет Петербургского университета в качестве магистерской диссертации. После успешной защиты ему была присвоена ученая степень

магистра, и он был утвержден приват-доцентом Петербургского университета.

В 1915 г. Д. С. Рождественский защитил докторскую диссертацию на тему «Простые соотношения в спектрах щелочных металлов» и был утвержден руководителем физического института университета, а с 1916 г. стал профессором Петербургского университета.

Одновременно Рождественский интенсивно работал над вопросами производства оптического стекла в России. Война лишила Россию оптического стекла, которое она получала из Германии, и для нужд армии и промышленности надо было создать свое стекло. Эту задачу Рождественскому и его сотрудникам удалось решить уже после Октября, когда Рождественский с неутомимой энергией взялся за организацию Оптического института—«того учреждения нового типа, в котором неразрывно связывались бы научная и техническая задачи».

Рождественский был убежден, что институты, в которых осуществляется тесная связь науки и техники, «должны повести к невиданному еще расцвету науки и техники». Эти мысли он высказывал в упоминавшемся выше отчетном докладе 15 декабря 1919 г., который был опубликован в «Трудах Оптического института» в 1920 г. под названием «Спектральный анализ и строение атома». Доклад содержал развитие бо-ровской теории строения атома.

Рождественский рассматривает спектры щелочных металлов, устанавливает во-дородоподобный характер спектров, получаемых перескоком оптического электрона с отдельных орбит, и усложненную картину для проникающих орбит, указывает, что происхождение дублетов должно быть связано с магнитными свойствами электронов. Обстоятельный доклад Д. С. Рождественского привлек внимание зарубежных физиков и был высоко оценен Бором.

Рождественский глубоко верил в возможность решения в недалеком будущем проблемы атомной энергии и считал, что к решению этой важнейшей задачи должны быть привлечены тысячи ученых и что это решение будет иметь огромное социальное воздействие. Д. С. Рождественский организовал в голодном и холодном Петрограде в 1920 г. Атомную комиссию, в работе которой принимали участие, кроме Д. С. Рождественского, А. Н. Крылов, А. ф. Иоффе, Н. И. Мухелишвили, Ю. А. Крутков и многие другие видные ученые, а также научная молодежь.

Обширная научная и организационная деятельность Д. С. Рождественского была высоко оценена. В 1925 г. он был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР, а в 1929 г.— ее действительным членом. Его горячая приверженность идее связи науки и техники с особой силой прозвучала в выступлении на мартовской сессии 1936 г. Академии наук по докладу академика А. ф. Иоффе. На этой же сессии он выступал с докладом о работах Оптического института.

Напряженная научная деятельность Д. С. Рождественского трагически оборвалась 25 июня 1940 г.

С. И. Вавилов. Советская оптика, в развитие которой внес такой большой вклад Д. С. Рождественский, нашла крупного лидера и в Москве. Это был молодой питомец лебедевско-лазаревской школы Сергей Иванович Вавилов.

С. И. Вавилов родился 24 марта 1891 г. в Москве. Окончив в 1909 г. Московское коммерческое училище, он в отличие от П. Н. Лебедева, А. ф. Иоффе и других, кончивших среднюю школу без аттестата зрелости, сдал экзамены по латинскому языку и поступил в Московский университет на математическое отделение физико-математического факультета.

С. И. Вавилов



Студентом Вавилов начал вести научную работу в лаборатории П. Н. Лебедева под руководством сотрудника Лебедева П. П. Лазарева. Работу «Тепловое выцветание красителей» он заканчивал уже не в стенах университета, откуда в 1911 г. ушел вместе с П. Н. Лебедевым, П. П. Лазаревым и другими учеными. Она была опубликована в 1914 г. и принесла автору золотую медаль Общества любителей естествознания.

С. И. Вавилов, окончив университет в 1914 г., не пожелал остаться «для подготовки к профессорскому званию», так как видел, что учиться физике в университете уже не у кого. Он пошел отбывать военную повинность вольноопределяющимся. Начавшаяся война продлила прохождение военной службы на четыре года, в течение которых прапорщик С. И. Вавилов воевал в саперных и радиочастях. Вавилов был демобилизован в 1918 г. и пришел в организованный его учителем П. П. Лазаревым Институт биофизики. Здесь Вавилов не только выполнял личную научную работу в области оптики, но и возглавлял отдел физической оптики института. Помимо научной работы, Вавилов вел большую педагогическую работу, он преподавал в Высшем зоотехническом институте, в Московском университете, в Высшем техническом училище.

С 1929 г. С. И. Вавилов заведует кафедрой общей физики Московского университета. Его научная работа в области люминесценции, организационная и педагогическая деятельность приобрели широкий размах. Высокий научный авторитет С. И. Вавилова обеспечил ему избрание членом-корреспондентом Академии наук СССР в 1931 г. Через год С. И. Вавилова избирают действительным членом и он становится научным руководителем Оптического института. В 1932 г. Вавилов возглавляет физический отдел физико-математического института АН СССР. Через год он реорганизует этот небольшой отдел в самостоятельный физический институт АН СССР (ФИАН). В 1933-1934 гг. в ФИАНе аспирант Вавилова П. А. Черенков открывает явление свечения жидкости под воздействием У-излучения. Тонкий знаток люминесценции, давший впервые ее строгое научное определение, С. И. Вавилов сразу понял, что свечение не является люминесценцией. Найденное свечение получило название эффекта Вавилова – Черепкова. Природа его была выяснена в 1937 г. И. Е. Таммом и И. М. Франком. Оно обязано своим происхождением электрону, движущемуся со скоростью, большей скорости света, в данной среде. В 1946 г. С. И. Вавилову, П. А. Черепкову, И. Е. Тамму, И. М. Франку была присвоена за это открытие Государственная премия, а в 1958 г. П. А. Черенков, И. Е. Тамм и И. М. Франк стали Нобелевскими лауреатами. С. И. Вавилова к этому времени уже не было. Основные научные исследования С. И. Вавилова были направлены на изучение

люминесценции и природы света. До создания фотоумножителей С. И. Вавилов посредством глаза изучал квантовые флуктуации слабых световых потоков. Результаты этих трудоемких и утомительных исследований были обобщены им в монографии «Микроструктура света».

Исследования по люминесценции света были доведены С. И. Вавиловым до практического результата. Им и его сотрудниками была разработана конструкция люминесцентных ламп «дневного света». За эту работу С. И. Вавилов, В. Л. Левшин, В. А. фабрикант были в 1951 г. удостоены Государственной премии. Государственной премии была удостоена в 1943 г. и его работа по квантовым флуктуациям.

С. И. Вавилов много и плодотворно занимался историей науки. Ему принадлежит монография «Исаак Ньютон», написанная им к 300-летию со дня рождения Ньютона в трудные военные годы. По его инициативе было издано полное собрание трудов великого русского ученого М. В. Ломоносова, творчеству которого Вавилов посвятил ряд статей. Им были переведены оптические мемуары Ньютона «Оптика» и «Лекции по оптике». По его инициативе начала выходить серия «Классики науки», существующая и до сих пор.

В 1945 г. С. И. Вавилов был избран Президентом Академии наук СССР.

Размах его научно-организационной работы колоссально возрос. Но Вавилов взял на себя и другую большую задачу: он стал одним из инициаторов организации Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний (общество «Знание»), председателем которого он был с его основания в 1947 г. и до своей смерти, последовавшей в ночь на 25 января 1951 г.

Глава седьмая. Возникновение квантовой механики

Трудности теории Бора

Процесс революционного преобразования физики, начало которого привлекло внимание В. И. Ленина и существенно повлияло на развитие советской физики, во второй половине 20-х годов завершился созданием новой научной системы, резко противоречащей привычным формам описания физических явлений. Этой системой была квантовая механика, становление которой приходится на 1925–1930 гг.

Теория Бора с самого начала вызывала многие вопросы, остававшиеся без ответа. Эти вопросы были поставлены Резерфордом еще при обсуждении рукописи первой статьи. Мы приводили высказывание Резерфорда о трудностях, возникших в связи с идеями Бора; как понимать сочетание идей Бора и классической механики, в которой нет места для квантовых скачков, и откуда электрон знает, на какую орбиту ему следует перескакивать.

Бор назвал эти замечания Резерфорда дальновидными. Резерфорд со всей ясностью показал противоречивость недетерминированных квантовых условий и квантовых скачков и строго детерминированных законов движения электрона по атомным орбитам. Однако успехи теории Бора в объяснении спектров заставили забыть об этом противоречии. Тем не менее сразу было видно, что первоначальной теории многого недостает. Это особенно ясно было видно на примере эффекта Зеемана.

В 1896 г. голландский физик Питер Зееман (1865–1943) произвел опыт, который пытался осуществить еще фа-радей. Пламя натриевой горелки он помещал между полюсами электромагнита и наблюдал в спектроскоп ее спектр. По оси электромагнита был просверлен канал, так что явление можно было наблюдать не только перпендикулярно силовым линиям поля (поперечный эффект), но и вдоль поля (продольный эффект). При наблюдении поперек поля, кроме линии с частотой колебаний ν_0 , равной частоте колебаний в отсутствие поля, наблюдались две линии с частотами $\nu_1 = \nu_0 + \Delta\nu$ и $\nu_2 = \nu_0 - \Delta\nu$. Все три линии линейно поляризованы. Несмещенная линия соответствует колебаниям вдоль силовых линий (π - компонент), смещенные – колебаниям, перпендикулярным силовым линиям (δ - компоненты). При наблюдении вдоль поля несмещенная компонента отсутствует,

смещенные линии поляризованы по кругу в противоположных направлениях.

Лоренц в 1897 г. дал простую теорию эффекта, исходя из представлений, что в атомах электроны совершают круговые движения с циклической частотой ω_0 . В магнитном поле на них действует сила Лоренца и частота обращения изменяется на величину $\Delta\omega$, равную приближенно:

$$\Delta\omega = (\pm e/2mc) H$$

Лармор (1857-1942) в 1899 г. интерпретировал действие магнитного поля как действие поля тяжести на волчок. Волчок прецессирует вокруг направления силы тяжести с угловой частотой $A\omega_0$. Точно так же вращающиеся электроны в атоме прецессируют вокруг силовых линий магнитного поля с круговой частотой $\Delta\omega = (\pm e/2mc) H$ (прецессия Лармора). Объяснение Лармора – Лоренца явилось выдающимся достижением электронной теории, и в 1902 г. Зееман и Лоренц были удостоены Нобелевской премии за открытие и объяснение эффекта Зеемана.

А. Зоммерфельд, развивая теорию Бора, ввел идею пространственного квантования. Движение электрона по орбите определяется радиальным и азимутальным квантовыми числами или главным квантовым числом n , определяющим энергию электрона, и побочным квантовым числом k , определяющим форму орбиты. Положение орбиты в пространстве определяется третьим магнитным квантовым числом t . Введение этого числа и квантование направлений оси по отношению к магнитному полю позволяет дать объяснение эффекта Зеемана. Однако это объяснение в известном смысле было хуже объяснения, данного Лоренцем. Оно ничего не говорило о поляризации линий. Вообще теория спектров, по Бору и Зоммерфельду, говорила лишь о частотах линий и не могла объяснить их интенсивность и поляризацию. Чтобы теория могла что-то сказать об этом, Бор ввел принцип соответствия.

Согласно этому принципу «существует далеко идущее соответствие» между квантовым и классическим описанием излучения. В квантовом описании линии спектра излучения обусловлены переходами из одного состояния в другое, в классическом эти линии определяются разложением движения электрона в ряд Фурье. При этом, как указывает Н. Бор, «частота излучения, испускаемого при переходе между стационарными состояниями, характеризуемыми числами n' и n'' , большими по сравнению с их разностью, совпадает с частотой одной из компонент излучения, которую можно ожидать при избранном движении электрона в стационарном состоянии на основании обычных представлений». Далее Бор пишет: «Задаваясь вопросом о более глубоком значении найденного соответствия, мы вправе, естественно, ожидать, что соответствие не ограничивается совпадением частот спектральных линий, вычисленных тем и другим методом, но простирается и на их интенсивности. Такое ожидание равносильно тому, что вероятность определенного перехода между двумя стационарными состояниями связана известным образом с амплитудой, соответствующей гармонической компоненте».

Применение принципа соответствия позволило определить и поляризацию в нормальном эффекте Зеемана. Квантовый переход, соответствующий изменению магнитного квантового числа на ± 1 , дает круговую поляризацию в плоскости, перпендикулярной к силовым линиям. Квантовый переход $\Delta m = 0$ соответствует линейной поляризации, параллельной силовым линиям.

Но нормальный эффект Зеемана представляет скорее исключение, чем норму. На опыте встречается более сложный эффект: расщепление на несколько компонентов (мультиплетов). Мультиплетами оказываются и линии спектров элементов. Аномальный эффект и мультиплетная структура спектров не укладывались в рамки обычной теории Бора.

С вопросом о сложной структуре линий был тесно связан вопрос о магнитных свойствах атома. Еще Д. С. Рождественский в своем докладе 15 декабря 1919 г. предполагал, что дублеты и триплеты спектральных линий обусловлены действием магнитных сил, вызванных движением электронов. «Магнитная задача должна лежать в основе задачи об атомах», – говорил Рождественский.

О. Штерн (1888-1969) и В. Герлах (род. в 1889 г.) в 1921 г. пропустили молекулярный

пучок через неоднородное магнитное поле и неопровержимо доказали наличие у атомов магнитного момента. Но детали опыта (расщепление пучка на два) опять не укладывались в теорию Бора–Зоммерфельда.

В том же, 1921 г. А.Ланде (1888-1975) дал формальную схему описания мультиплетов с помощью векторной модели и ввел связанный с квантовыми числами k и s множитель Ланде¹. Он также получил «двойной магнетизм»: отношение между магнитным и вращательным моментом атомного остова (т. е. ядра и всех электронов, кроме оптического) оказалось вдвое больше того, который следует из теории Бора – Зоммерфельда. Противоречия с теорией Бора в ее первоначальном варианте накапливались на каждом шагу, и квантовое описание спектроскопических фактов все более и более усложнялось.

Особенно тягостное положение создалось в теории света. Эйнштейн в своей классической работе 1917 г. о световых квантах сделал дальнейший шаг в сторону корпускулярной теории света. Он предположил, что атом излучает, «выстреливая» квант света в том или ином направлении (игольчатое излучение). При этом квант света обладает всеми свойствами материальной частицы: энергией $E = h\nu$, массой

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} \quad \text{и импульсом} \quad p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

Эта идея нашла блестящее подтверждение в открытии, сделанном американским физиком Артуром Комптоном (и, по-видимому, П. Дебаем). В 1922 г. Комптон (1892-1962), изучая рассеяние рентгеновских лучей веществом, содержащим слабо связанные электроны (графитом), установил, что частота (длина волны) рассеянных рентгеновских лучей изменяется в зависимости от угла рассеяния. С увеличением угла рассеяния она уменьшается (длина волны увеличивается), излучение становится более «мягким». В 1927 г. Комптону была присуждена Нобелевская премия за открытие этого эффекта.

А. Комптон



В 1923 г. А. Комптон и независимо от него П. Дебай дали теорию «эффекта Комптона». Теория была основана на идее Эйнштейна: квант света сталкивается с электроном по закону упругого удара. Применяя законы сохранения энергии и импульса, Комптон и Дебай получили формулу для изменения длины волны рассеянного излучения:

$$\Delta\lambda = 2\lambda_0 \sin^2 \frac{\theta}{2},$$

где $\lambda_0 = \frac{h}{mc}$ – универсальная константа

(комптоновская длина волны). Дебай написал эту формулу в несколько измененном виде. Это простое и наглядное объяснение эффекта в сильной степени способствовало укреплению представления о кванте света как частице, для которой Комптоном был предложен термин «фотон», ставший общеупотребительным.

К 1924 г. в науке о свете создалось тягостное положение, которое очень наглядно охарактеризовал О. Д. Хвольсон в своем докладе на IV съезде физиков в Ленинграде. Разделив мелом доску на две части А и В, он вписал на одной стороне факты, объясняемые волновой теорией света, на другой – факты, объясняемые квантовой теорией. «Ни волновая, ни квантовая теории, – говорил в связи с этим принимавший участие в съезде Эренфест, – не в состоянии охватить все области световых явлений». Всеобъемлющей теории света, как это констатировал Хвольсон, не было. Однако эффект Комптона и опыт А. ф. Иоффе и Н. И. Добронравова, о котором было сообщено на съезде, как будто перевешивали чашу весов в пользу квантовой теории. Эренфест в своем докладе рассказал о попытке построить квантовую теорию дифракционной решетки.

В 1924 г. Бор совместно с Г. Крамерсом и Дж. Слэтером написал статью «Квантовая теория излучения», опубликованную в 1924 г.

В поисках выхода из тяжелого положения авторы предложили даже отказаться от требования применения закона сохранения энергии к отдельным актам излучения и поглощения света атомом. Закон сохранения энергии должен выполняться лишь статистически, в среднем. Они ввели представление о виртуальном поле, индуцирующем квантовые переходы, и, полностью сохраняя волновые представления, пытались построить теорию квантовых эффектов. Однако гипотеза Бора, Крамерса и Слэтера была опровергнута экспериментами, в которых доказывалось, что каждый акт взаимодействия света с веществом подчиняется закону сохранения энергии. Выход, таким образом, Бором и его сотрудниками еще не был найден.

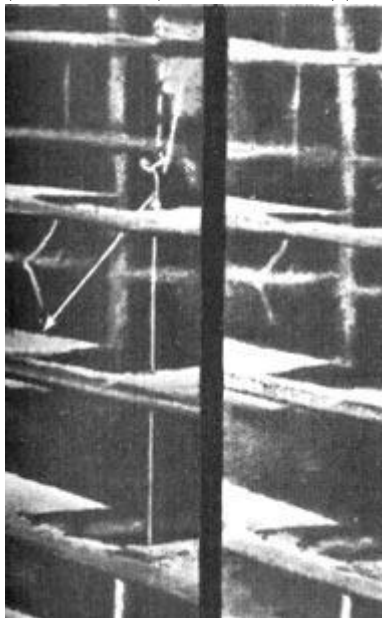


Рис. 76. Явление Комптона по снимку Комптона и Симона

Идеи де Бройля

В 1923 г. в докладах Парижской Академии наук были опубликованы три статьи французского физика Луи де Бройля: «Волны и кванты», «Кванты света, дифракция и интерференция», «Кванты, кинетическая теория газов и принцип ферма», в которых выдвигалась совершенно новая идея, переносящая дуализм в теории света на сами частицы материи.

Де Бройль рассматривает некоторый волновой процесс, связанный с телом, движущимся со скоростью $v = \beta c$. Эта волна обладает частотой, определяемой соотношением $E = hv = m(c)^2$, и движется в направлении движения тела со скоростью $u = c/\beta$ «Мы будем рассматривать ее лишь как фиктивную волну, связанную с перемещением движущегося тела». Де Бройль показывает далее, что для электрона, движущегося по замкнутой траектории с постоянной скоростью, меньшей скорости света, траектория будет устойчива, если на ней укладывается целое число таких волн. Условие это совпадает с квантовым условием Бора: $mvR = nh/2\pi$. Скорость частицы $v = \beta c$ является скоростью группы волн, обладающих частотами, мало отличающимися друг от друга и соответствующими частоте $m(c)^2/h$. Эта волна, которую де Бройль называл «волной фазы», пилотирует движение частицы, несущей энергию mc^2 , сама же фазовая волна энергии не несет. Гипотеза де Бройля позволяет «осуществить синтез волнового движения и квантов». Де Бройль утверждает наличие в природе волновых явлений и для частиц вещества. Он пишет: «Дифракционные явления обнаруживаются в потоке электронов, проходящих сквозь достаточно малые отверстия. Быть может, экспериментальное подтверждение наших идей следует искать в этом направлении».

Де Бройль указывает, что его новая механика относится к прежней механике, классической и релятивистской, «так же как волновая оптика относится к геометрической». Он пишет, что предложенный им синтез «представляется логическим венцом совместного развития динамики и оптики со времени XVII в.

25 ноября 1924 г. де Бройль защитил диссертацию «Исследования по теории квантов». Это время некоторые авторы считают началом возникновения идей волновой механики. Де Бройль впоследствии возражал, указывая, что он открыл волновую механику еще в 1923 г., «поскольку в своей диссертации лишь развил идеи, содержащиеся в моих статьях, написанных в сентябре – октябре 1923 г.». За открытие волновой природы электронов де Бройль был удостоен в 1929 г. Нобелевской премии.

Но тогда эти статьи не вызвали сразу широкого отклика. Содержащееся в них указание на дифракцию электронов прошло мимо экспериментаторов. Дифракция электронов была открыта через 5 лет после появления статей де Бройля вне всякой связи с ними и до известной степени случайно. Но на идеи де Бройля обратили внимание теоретики – Эйнштейн и Шредингер, с успехом развившие их в своих работах.

В своей статье «Кванты, кинетическая теория газов и принцип ферма» де Бройль, опираясь на исследования, проводимые в 1911–1913 гг. Планком, Нернстом, а также Саккуром и Тетроде, разрабатывает статистику газов и световых квантов. Саккур и Тетроде, начав в 1911–1912 гг. применение идей квантовой теории к газам, предложили считать элементарный фазовый объем газа равным h^3 . Планк подхватил эту идею и связал ее с теоремой Нернста, квантовый характер которой установил впервые он. Теперь де Бройль, используя свое представление о волнах материи, выводит закон распределения Максвелла для газов и формулу Планка для квантов света.

Возникновение квантовой статистики

2 июля 1924 г. индийский физик Шатъендранат Бозе (1894–1974) направил из Дакки (ныне столица Бангладеш) в немецкий журнал «Zeitschrift fur Physik» статью «Закон Планка и гипотеза световых квантов». Используя представление Эйнштейна о квантах как частицах, обладающих импульсом $h\nu/c$, гипотезу Саккура – Тетроде (эти имена ни де Бройль, ни Бозе

не упоминают) и величину элементарного фазового объема, Бозе вводит новый метод статистического подсчета распределения объектов (в данном случае световых квантов) по состояниям. Бозе подсчитывает распределение не самих квантов, которые неразличимы, а ячеек, не содержащих ни одного кванта, содержащих один, два и т. д. квантов. Число таких распределений выражается формулой:

$$\frac{A^s!}{p_0^s! p_1^s! p_2^s!},$$

где $A^s = \frac{\delta \pi v_s}{c^3} dv_s$, p_0^s – число пустых

ячеек, p_1 - число ячеек, содержащих один квант, p_2 - число ячеек, содержащих два кванта, и т.д.

Статья Бозе заинтересовала Эйнштейна, и он сопроводил ее публикацию своим примечанием, помещенным в конце статьи: «Вывод формулы Планка, предложенный Бозе, является, по моему мнению, большим достижением. Использованный им метод дает также квантовую теорию идеального газа, которую я изложу в другом месте».

Эренфест рассказывал своим друзьям, что, начав читать статью Бозе, он отнесся к ней весьма неодобрительно. Но, прочитав в конце примечание Эйнштейна, он сказал себе: «Пауль, ты чего-то не понял». Эйнштейн же выполнил свое обещание и опубликовал в 1924–1925 гг. ряд статей по квантовой теории идеального одноатомного газа. Вклад, внесенный Эйнштейном в развитие статистики Бозе, оказался столь существенным, что ныне эту статистику называют статистикой Бозе – Эйнштейна. Из этих статей видно, с каким трудом пробивали дорогу новые идеи. Эйнштейн указывал, что «Эренфест и другие коллеги порицают теорию излучения Бозе и мою теорию идеального газа», и отвечал на критику, уточняя и развивая новую теорию. Пря этом Эйнштейн, который еще в 1909 г. рассматривал интерференционные флуктуации светового поля, вводит представление о таких флуктуациях и в теорию газа, считая, что «здесь речь идет не только о простой аналогии».

«Каким образом материальной частице или системе материальных частиц можно сопоставить (скалярное) волновое поле, – пишет Эйнштейн, – показал в своей работе Л. де Бройль, заслуживающей всякого внимания». При этом Эйнштейн ссылается на докторскую диссертацию де Бройля.

Эйнштейн был первым из крупных физиков, который поддержал идеи де Бройля и широко использовал их в своих исследованиях по квантовой статистике идеального одноатомного газа.

По-иному отнеслись к теории де Бройля Бор и его сотрудники по «копенгагенской школе». Бор, Гейзенберг, Паули искали выхода на путях построения математических схем, лишенных наглядности, но зато точно описывающих наблюдаемые факты. Такая математическая схема найдена была в 1925 г. Гейзенбергом. При этом Гейзенберг, как он отмечал в аннотации к статье «О квантовом теоретическом истолковании кинематических и механических соотношений», основывался «исключительно на соотношениях между принципиально наблюдаемыми величинами». В статье, представленной в редакцию «Zeitschrift für Physik» 29 июня 1925 г., Гейзенберг предлагал «отказаться от всякой надежды на наблюдение до сих пор не наблюдаемых величин (таких, как положения, период обращения электрона)» и пытался «построить квантовом теоретическую механику, более или менее аналогичную классической механике, в которой встречались бы только соотношения между наблюдаемыми величинами».

Нельзя не отметить, что этот призыв Гейзенберга отказаться от «до сих пор не наблюдаемых величин» напоминает призыв Маха и Оствальда «отказаться от не наблюдаемых» атомов и электронов. Гейзенберг еще не создавал, что речь идет не об отказе от понятия «не наблюдаемые» положения и скорости электрона, а об уточнении самого понятия «наблюдение» в применении к микромиру. Гейзенберг не знал также, что

предложенная им в статье математическая схема описания квантово-теоретических величин есть матричная алгебра. На это указал учитель Гейзенберга М. Борн, который вместе с П. Иорданом 27 сентября 1925 г. представил «Zeitschrift für Physik» статью о матричной теории гармонического осциллятора.

В октябре того же года В. Паули разработал по новой теории проблему атома водорода. 26 ноября 1925 г. Борн и Иордан представили в «Zeitschrift für Physik» «общую математическую теорию квантовой механики». В том же, 1925 г. П. Дирак выступил со своей схемой новой механики, развив особую символическую алгебру состояний и наблюдаемых величин. При этом существенно, что Дирак, ознакомившись со статьей Гейзенберга еще до ее публикации (Гейзенберг прислал ему препринт), обратил внимание не на методологическую установку Гейзенберга, а на нарушение принципа коммутативности для произведения величин, входящих в описание атомной системы. «Это в самом деле было более важно, – вспоминал позднее Дирак, – чем мысль Гейзенберга о построении теории на основе величин, тесно связанных с результатами экспериментов. Поэтому я, – продолжал Дирак, – сосредоточил свое внимание на мысли о некоммутативности, стремясь понять, как следует изменить обычную динамику, которой до сего времени люди пользовались, чтобы включить эту идею в теорию... Гамильтонова форма динамики оказалась как раз наиболее подходящей формой для включения некоммутативности, и не столь уж трудной задачей было найти способ сочетать эти мысли».

Открытие спина

В 1925 г. в физику было введено новое фундаментальное понятие спина. Это понятие было введено Уленбеком и Гаудсмитом, работавшими летом 1925 г. у Эренфеста в Лейдене. К этому времени В. Паули опубликовал свою работу, содержащую формулировку принципа запрета, носящего его имя. Паули показал, что квантовое состояние электрона характеризуется четырьмя (а не тремя) квантовыми числами и что в этом состоянии может быть только один электрон. Статья Паули, содержащая формулировку его принципа, была опубликована в «Zeitschrift für Physik» весной 1925 г. Еще ранее, в декабрьской книжке журнала «Die Naturwissenschaften» Паули указал, что для характера тики состояния электрона необходимо четыре квантовых числа: главное квантовое число n , азимутальное квантовое число l и два магнитных числа m_1 и m_2 . Гаудсмит рассказал Уленбеку об этой работе Паули. Узнав это, Уленбек высказал такую мысль, что электрон обладает еще одной степенью свободы, которая соответствует вращению электрона (спину).

«После его замечания о спине, – писал Гаудсмит, – мы сразу увидели, что полностью выясняется, почему ms всегда равно $+1/2$ или $-1/2$. Далее мы увидели, что все случаи расщепления Зеемана могут быть объяснены, если приписать электрону магнитный момент, равный одному целому магнетону Бора. Кроме того, стало ясно, что спин находится в полном соответствии с нашим новым толкованием спектра водорода».

Эренфест немедленно отправил статью Уленбека и Гаудсмита в «Die Naturwissenschaften». Она появилась в 13-м номере журнала за 1925 г. Уленбек после консультации с Лоренцем выяснил, что скорость вращения электрона на экваторе для требуемого гипотезой момента должна быть больше скорости света, и потребовал возвращения статьи, но было уже поздно.

Паули очень неодобрительно встретил статью Уленбека и Гаудсмита. Еще ранее он отнесся отрицательно к аналогичной идее, высказанной Кронигом.

Бор и Гейзенберг, наоборот, проявили большой интерес к новой гипотезе, а после того как Томас вычислил на основе гипотезы спина значение дублетного расщепления, Паули снял свои возражения.

Таким образом, 1925 г. оказался годом рождения квантовой механики Гейзенберга и Дирака, годом рождения новой квантовой статистики Бозе – Эйнштейна, годом рождения принципа Паули и гипотезы спина.

Вольфганг Паули, один из активных деятелей современной физики, родился в Швейцарии 25 апреля 1900 г.

Он окончил Мюнхенский университет и, еще будучи студентом, написал статью-монографию «Теория относительности», опубликованную в Математической энциклопедии в 1921 г.

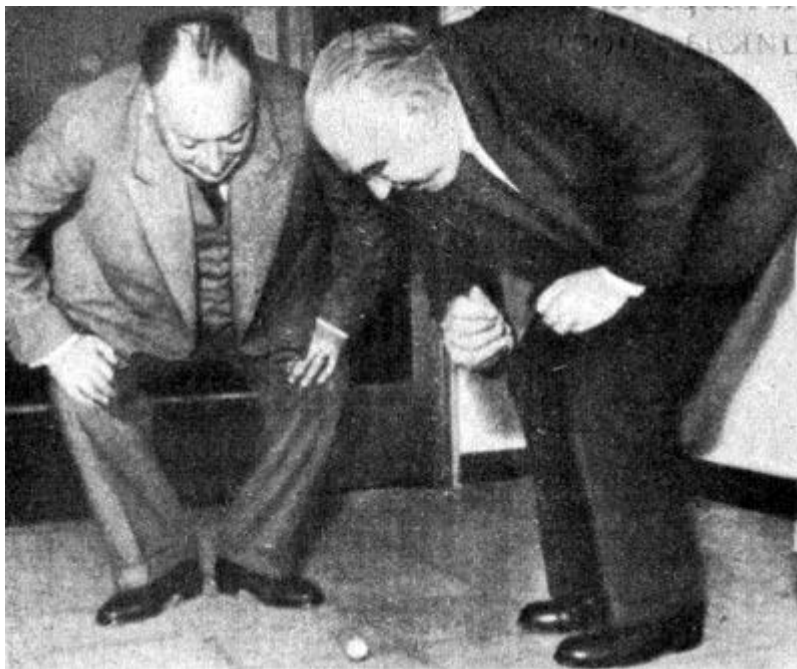


Рис. 77. Н. Бор и В. Паули

Успех публикации побудил издать ее отдельной книгой, вышедшей с предисловием А. Зоммерфельда в том же, 1921 г. Русский перевод ее вышел в 1947 г.

По окончании университета Паули работал в Геттингене (1921–1922), Копенгагене (1922–1923), Гамбурге и с 1927 г. в Цюрихе, в Высшем техническом училище (политехникуме). Открытие принципа Паули дало ключ к объяснению периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева и вместе с открытием спина послужило основой новой формы квантовой статистики для частиц, обладающих полуцелым спином. Эта статистика была создана Э. ферми, сообщившим о ней в короткой заметке 6 февраля 1926 г. и в статье «О квантовании идеального газа», опубликованной 26 марта 1926 г. Статья Дирака была представлена Лондонскому Королевскому обществу 26 августа того же года.

Таким образом, 1926 г. был годом создания статистики ферми – Дирака.

Открытие принципа Паули было удостоено в 1945 г. Нобелевской премии.

В 1931 г. Паули предложил гипотезу новой частицы, названной по предложению ферми «нейтрино».

Умер Паули 16 декабря 1958 г.

Механика Гейзенберга и Шредингера

Возвратимся к истории создания квантовой механики. В матричной механике Гейзенберга – Борна – Иордана каноническим переменным q и p классической механики соответствовали матрицы \bar{q} и \bar{p} . Существенно, что произведение матриц не удовлетворяло закону переместительности, а выполнялось перестановочное соотношение:

$$\bar{p}\bar{q} - \bar{q}\bar{p} = \frac{h}{2\pi i}.$$

Как мы видели, Дирак обратил особое внимание на это соотношение, тогда как

«копенгагенцы» поняли его значение лишь позже, после построения математической схемы квантового излучения.

Оперируя бесконечными матрицами, Гейзенберг, Паули, Борн и Иордан решили ряд задач атомной механики. «Математика, – писал впоследствии Гейзенберг об этом начальном периоде квантовой механики, – неожиданно проявила себя «умнее» физики; и здесь мы опять встречаемся с тем случаем в теоретической физике, когда с помощью такой математики нападают на след новых открытий».

«Позднее, – продолжал Гейзенберг, – Борну, Иордану и Дираку полностью удалось проникнуть во внутреннюю структуру подобного рода математики и успешно применить математическую схему к расчету атома». Гейзенберг особо подчеркивает роль Борна, Иордана, а также Дирака в разработке математической схемы квантовой механики. «В работах Борна и Иордана, – писал он, – матричная механика впервые стала законченной математической схемой».

Вслед за этой математической теорией начала создаваться другая теория атомных процессов, исходящая из совершенно новых основ. В начале 1926 г. в журнале «Annalen der Physik» появились две статьи Шредингера на тему «Квантование как проблема собственных значений» (27 января и 23 февраля 1926г.). 18 марта того же года поступила статья «Об отношении механики Гейзенберга – Борна – Иордана к моей». Третье сообщение из цикла «Квантование как проблема собственных значений» поступило 10 мая 1926 г. четвертое, последнее сообщение того же цикла поступило 21 июня 1926 г. В ноябре 1926 г. Шредингер собрал все работы, опубликованные в «Annalen der Physik», прибавил к ним небольшую заметку, опубликованную в «Die Naturwissenschaften», – «Непрерывный переход от микро- к макромеханике» и издал их отдельной книгой, вышедшей в 1927 г. под общим названием «Статьи по волновой механике».

Шредингер исходил из идей де Бройля и оптико-механической аналогии Гамильтона. По этой аналогии геометрической оптике соответствуют уравнения классической механики, определяющие траекторию частицы, так же как законы геометрической оптики определяют форму лучей света. Геометрическая оптика применима к малым длинам волн; когда же длиной волны нельзя пренебречь, то вступают в силу законы волновой оптики, описываемые волновым уравнением.

Для макрообъектов длина волны де Бройля $\lambda = h/mv$ очень мала, и их движение описывается законами классической механики. Но для микрообъектов длиной волны нельзя пренебречь, и закон их движения должен описываться уравнением, аналогичным волновому уравнению в оптике.

Форму этого уравнения Шредингер нашел в следующем виде:

$$\operatorname{div} \operatorname{grad} \Psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V)\Psi = 0.$$

Математическая теория показывает, что решения этого уравнения, удовлетворяющие граничным условиям и требующие применения к ним операций, предписанных формой уравнения, получаются только при определенных значениях параметра E , называемых x характеристическими или собственными значениями. Соответствующие этим значениям решения называются характеристическими или собственными функциями. Это означает фактически, что уравнения заключают в себе квантовые условия. Таким образом, таинственная проблема квантования свелась к хорошо известной в математике проблеме собственных значений.

Осталось интерпретировать смысл волновой функции. Шредингер, воодушевленный тем, что ему, как он думал, удалось избавиться от квантовых скачков, пытался дать наглядную интерпретацию функции V . Наложением волновых функций образуется «волновой пакет», который, по его мнению, и представляет движущуюся микрочастицу. Напомним, что, по де Бройлю, скорость группы волн равна скорости частицы. Однако уже

для двух частиц такая наглядная интерпретация невозможна. Здесь «волны», описываемые функциями V , являются «волнами» не в обычном, трехмерном, а в абстрактном, конфигуральном пространстве. Кроме того, «волновой пакет» с течением времени расплывается. Поэтому Борн в 1926 г. предложил другую, вероятностную интерпретацию функции V . Квадрат модуля V определяет плотность вероятности нахождения частицы в данной точке.

Следует отметить, что Шредингер до самого конца своей жизни думал, что единственной реальностью в мире является волна (отсюда и введенный им термин «волновая механика») и никаких квантовых скачков не существует.

Бор, Гейзенберг, Борн и другие физики копенгагенской школы, названной так по месту жительства основателя этой школы Нильса Бора, во главу физической интерпретации ставили частицу, обладающую целостностью и устойчивостью. Но поведение этой частицы существенно отличается от поведения частицы в классической механике.

23 марта 1927 г. в редакцию журнала «Zeitschrift für Physik» поступила статья В. Гейзенберга «О наглядном содержании квантотеоретической кинематики и механики». Здесь содержалась формулировка принципа, являющегося ключевым в новом понимании частиц, – принципа неопределенности.

Осенью того же года во время празднования юбилея Вольты в Италии, в г. Комо, Н. Бор прочитал лекцию «Квантовый постулат и новейшее развитие атомной теории». Бор сразу оценил значение работы Гейзенберга и сформулировал принцип дополнительности как основной принцип нового понимания природы.

Вскоре после конгресса в Комо в октябре 1927 г. в Брюсселе происходил 5-й Сольвеевский конгресс по теме «Электроны и фотоны». Здесь новая точка зрения была атакована Эйнштейном, который, как писал позднее Бор, «выразил глубокую тревогу по поводу того, что в квантовой механике так далеко отошли от причинного описания в пространстве и времени». Тот факт, что два лидера современной физики – Бор и Эйнштейн – оказались в разных лагерях, свидетельствует о глубине происходящего переворота в понимании природы.

Новое понимание, представленное Бором, Гейзенбергом и другими представителями копенгагенской школы, настолько далеко отошло от «явного для нас», что Бор даже высказал необходимость для современной теории быть «достаточно безумной», чтобы быть правильной. Единственно, что принималось всеми физиками без споров, – это математическое описание.

Появление новых идей вызвало острую дискуссию в физике и философии. Единой точки зрения еще не достигнуто до сих пор. Однако принцип неопределенности и законы квантовой механики принимаются всеми физиками как основные законы природы.

Расхождения начинаются в философской интерпретации этих законов.

С точки зрения диалектического материализма новый путь в познании природы означает все более глубокое проникновение в объективную диалектику мира.

В заключение приведем краткие биографические справки о двух физиках, внесших существенный вклад в создание новой механики.

Эрвин Шредингер родился 12 августа 1887 г. Он окончил университет в Вене и с 1914 по 1920 г. был преподавателем этого университета. С 1920 по 1927 г. он работал последовательно в Штутгарте, Цюрихе, Бреслау (Вроцлав), с 1927 г. – в Берлине. После прихода гитлеровцев к власти он уехал в Англию, где работал в 1933–1935 гг. в Оксфорде. С 1936 по 1938 г. он жил в Австрии и после захвата ее гитлеровцами уехал в Бельгию.

Оккупация Бельгии заставила его уехать в Ирландию, где он с 1940 по 1956 г. был профессором Дублинского университета. С 1956 г. Шредингер – профессор университета в Вене и член Австрийской Академии наук. Умер Шредингер 4 января 1960 г.

В 1933 г. Шредингер получил Нобелевскую премию одновременно с другим создателем квантовой механики – Полем Дираком, в 1934 г. был избран иностранным членом Академии наук СССР.

Макс Борн родился 11 декабря 1882 г. С 1909 г. он приватдоцент Гет-тингенского университета, с 1919 г. – профессор университета во Франкфурте-на-Майне, с 1921 г. – профессор Гет-тингенского университета, который стал одним из ведущих центров теоретической физики. Сюда приезжали физики из Америки и Европы.

Сам Борн с 1913 г. развивал динамическую теорию твердого тела, а с 1925 г. его научные интересы сосредоточились на новой, квантовой механике. В 1934 г. он был избран иностранным членом Академии наук СССР. К этому времени он эмигрировал из фашистской Германии в Англию, где занял кафедру теоретической физики сначала в Кембридже, а с 1936 г. в Эдинбурге. В 1954 г. Борн получил Нобелевскую премию. Нобелевский доклад «Статистическая интерпретация квантовой механики» был опубликован в книге «физика в жизни моего поколения», вышедшей в Англии в 1956 г. Умер Борн 5 января 1970 г.

Глава восьмая. Развитие ядерной физики в 1918-1938 гг.

Начало атомной энергетики. Открытие изотопов

В послевоенные годы возобновились прерванные войной исследования по ядерной физике. В Кембридже продолжил начатые еще до войны исследования над положительными лучами Д. Д. Томсон.

Д. Д. Томсон работал с разрядной трубкой, в которой катод имел форму металлического цилиндра с просверленным вдоль оси каналом. В закатодную часть трубки пропускали узкий пучок положительных лучей, падающий на экран или фотопластинку. Пучок проходил между полюсами электромагнита, снабженного железными пластинками, изолированными от полюсов и служащими обкладками конденсатора. При включении тока в обмотку и подаче электрического напряжения на пластины каналовые частицы подвергались действию параллельных электрического и магнитного полей. Все частицы, обладающие одинаковым удельным зарядом $-e/m$, но разными скоростями, оставляли на пластинке след в виде отрезка параболы (метод парабол). По виду этих парабол можно было судить об удельном заряде частицы и таким образом определить ее природу. Томсон назвал свой метод новым методом химического анализа.

В отличие от катодных лучей каналовые лучи оказались положительно заряженными ионами газа, находящегося в разрядной трубке. Анализируя различные газы, Томсон получил интересный результат для неона. В этом случае наблюдались две параболы различной интенсивности. Более резкая линия соответствовала массе 20, более слабая – массе 22. Сотрудник Томсона Френсис Астон попытался отделить этот новый газ 22 от неона (его атомный вес 20,2), попытки оказались безуспешными. После войны, в 1919 г. Астон вновь вернулся к этим попыткам и построил первый масс-спектрограф. В первых же экспериментах он получил изотопы неона 20 и 22, хлора 35, 36, 37, 38, криптона, ртути и других элементов.



Р. Милликен

Масс-спектрограф другой конструкции был построен в США Демпстером (1886–1950) в 1918 г. Демпстер работал в Чикаго в райерсоновской лаборатории, в которой работал Роберт Эндрюс Милликен, известный своими классическими опытами по определению заряда электрона и фотоэффекту. За эти исследования Милликен в 1923 г. получил Нобелевскую премию. Метод «милликене-новского конденсатора» с успехом использовал А. ф. Иоффе в своих опытах по элементарному электрическому эффекту.

Следует отметить, что вывод Милликена о существовании электрического заряда, дробные части которого не наблюдаются, оспаривался группой венских физиков, утверждавших, что ими обнаружены «субэлектроны», имеющие заряд, меньший элементарного. Дискуссия о субэлектронах длилась с первых опытов Милликена в 1911 по 1925 г., но победу одержал Милликен. Правда, найденное им значение элементарного заряда $e = (4,774 \pm 0,005) \cdot 10^{-10}$ СГСЭ впоследствии было подвержено критике из-за неточного определения вязкости воздуха и сегодня принимают значение $e = 4,803242 \cdot 10^{-10}$ СГСЭ, но самый эффект существования «атома электричества» считается твердо установленным.

Гипотеза «кварков»—частиц, обладающих дробным зарядом, — экспериментально до сих пор не подтвердилась. Правда, в последнее время, благодаря достижениям в физике элементарных частиц, теоретическим и экспериментальным, наметились определенные сдвиги в решении проблемы «кварков». Кварковая модель позволяет ученым объяснить «периодичность» в мире адронов, короткоживущих нестабильных частиц, участвующих в сильных взаимодействиях. Многие косвенные экспериментальные факты говорят в пользу «кварков». Но пока выделить их в свободном состоянии не удается.

Некоторые теоретики считают, что этого сделать невозможно, так как силы, действующие между «кварками», растут по мере удаления их друг от друга.

Для окончательного решения вопроса о возможности выделить «кварки» в свободном состоянии, так же как и для решения многих других тайн физики элементарных частиц, создаются еще более мощные ускорители, более совершенные ЭВМ. Специалисты возлагают большие надежды на эти совершенные приборы и ожидают скорой разгадки тайн «кварков».

Расщепление ядра

Открытие изотопов стабильных элементов, уточнение измерений элементарного заряда были первыми достижениями послевоенной физики (1917-1918). В 1919 г. было сделано новое сенсационное открытие — искусственное расщепление ядра. Открытие это было сделано Резерфордом в Кембридже в Кавендишской лаборатории, которую он возглавил в

том же, 1919 г.

Резерфорд изучал столкновение α -частиц с легкими атомами. Столкновения α -частицы с ядрами таких атомов должны их ускорять. Так, при ударе α -частицы о ядро водорода оно увеличивает свою скорость в 1,6 раза, и ядро отбирает у α -частицы 64% ее энергии. Такие ускоренные ядра легко обнаружить по сцинтилляциям, возникающим при ударе их об экран из сернистого цинка. Их действительно наблюдал Марсден в 1914 г.

Резерфорд продолжил опыты Марсдена, но, как он отмечал сам, эти опыты «выполнялись в весьма нерегулярные промежутки времени, поскольку позволяли повседневные занятия и работа, связанная с войной...» «Опыты даже совершенно прекращались на долгое время». Лишь после окончания войны опыты ставились регулярно, и их результаты были опубликованы в 1919 г. в четырех статьях под общим названием «Столкновения α -частиц с легкими атомами».

Прибор, применявшийся Резерфордом для изучения таких столкновений, представлял собой латунную камеру длиной 18 см, высотой 6 см и шириной 2 см. Источником α -частиц служил металлический диск, покрытый активным веществом. Диск помещался внутри камеры и мог устанавливаться на разных расстояниях от экрана из сернистого цинка, на котором наблюдались с помощью микроскопа сцинтилляции.

Камера могла заполняться различными газами (см. рис. 78).

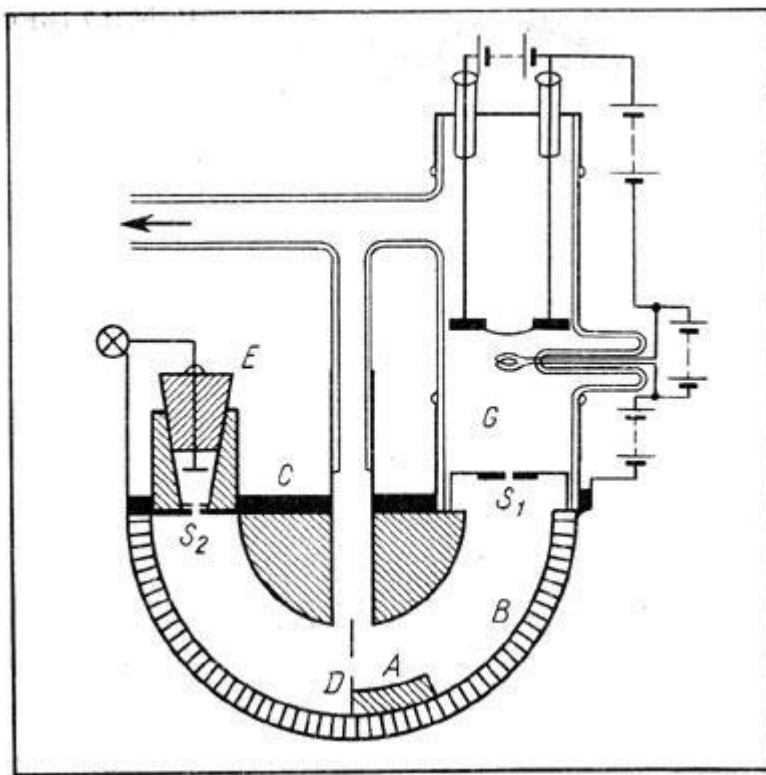


Рис. 78. Масс-спектрограф Демпестера

При впускании сухого кислорода или углекислого газа число сцинтилляций уменьшалось вследствие поглощения α -частиц слоем газа. «Неожиданный эффект, однако, — писал Резерфорд в четвертой статье, — был обнаружен, когда в аппарат был введен сухой воздух. Вместо уменьшения число сцинтилляций увеличилось, и для поглощения, соответствующего приблизительно слою воздуха в 19 см, число их было приблизительно в 2 раза больше, чем то, которое наблюдалось при вакууме. Из этого опыта было ясно, что α -частицы при прохождении через воздух дают начало сцинтилляциям, соответствующим большим длинам пробега, яркость которых для глаза представлялась приблизительно равной яркости Н-сцинтилляций». Так как в кислороде и углекислом газе такого эффекта не наблюдалось, то с большой вероятностью можно было утверждать, что этот эффект обязан своим происхождением азоту.

Камеру заполняли чистым тщательно высушенным азотом. «В чистом азоте число сцинтилляций, соответствующих большому пробегу, было больше, чем в воздухе». Таким образом, «сцинтилляции при большом пробеге, наблюдаемые в воздухе, должны быть приписаны азоту».

Необходимо было, однако, показать, что длиннопробежные α -частицы, вызывающие сцинтилляции, «являются результатами столкновений α -частиц с атомами азота».

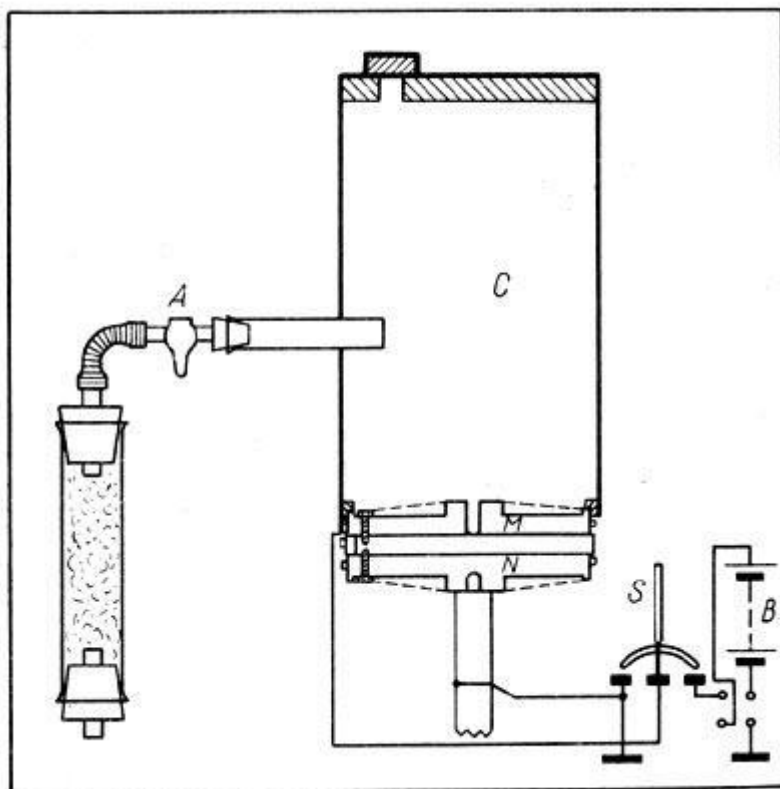


Схема первой установки Милликена

Путем многочисленных опытов Резерфорд показал, что это действительно так и что в результате таких столкновений получаются частицы с максимальным пробегом 28 см, таким же, как у H-атомов. «Из полученных до сих пор результатов, – писал Резерфорд, – трудно избежать заключения, что атомы с большим пробегом, возникающие при столкновении α -частиц с азотом, являются не атомами азота, но, по всей вероятности, атомами водорода или атомами с массой 2. Если это так, то мы должны заключить, что атом азота распадается вследствие громадных сил, развивающихся при столкновении с быстрой α -частицей, и что освобождающийся водородный атом образует составную часть атома».

Так было открыто явление расщепления ядер азота при ударах быстрых α -частиц и впервые высказана мысль, что ядра водорода представляют собой составную часть ядер атомов. Впоследствии Резерфорд предложил термин «протон» для этой составной части ядра. Резерфорд заканчивал свою статью словами: «Результаты в целом указывают на то, что если α -частицы или подобные им быстро движущиеся частицы с значительно большей энергией могли бы применяться для опытов, то можно было бы обнаружить разрушение ядерных структур многих легких атомов».

3 июня 1920 г. Резерфорд прочитал так называемую Бакерианскую лекцию под названием «Нуклеарное строение атома». Сообщая в этой лекции о результатах своих исследований по столкновению α -частиц с ядрами атомов и о расщеплении ядер азота,

Резерфорд, обсуждая природу продуктов расщепления, сделал предположение о возможности существования ядер с массой 3 и 2 и ядер с массой ядра водорода, но с нулевым зарядом. При этом он исходил из гипотезы, высказанной впервые Марией Склодовской-Кюри, что в состав атомного ядра входят электроны.

Резерфорд пишет, что «ему кажется весьма правдоподобным, что один электрон может связать два Н-ядра и, возможно, даже и одно Н-ядро. Если справедливо первое предположение, то оно указывает на возможность существования атома с массой около 2 и с одним зарядом. Такое вещество нужно рассматривать как изотоп водорода. Второе предположение заключает в себе мысль о возможности существования атома с массой 1 и нуклеарным зарядом, равным нулю. Подобные образования представляются вполне возможными... Подобный атом обладал бы совершенно фантастическими свойствами. Его внешнее поле практически должно равняться нулю, за исключением областей, весьма близко прилегающих к ядру; вследствие этого он должен бы обладать способностью свободно проходить через материю. Существование подобного атома, вероятно, трудно было бы обнаружить спектроскопом, и его нельзя было бы удержать в закрытом сосуде. С другой стороны, он должен был легко входить в структуру атома и либо соединяться с его ядром, либо разгоняться интенсивным полем последнего, давая начало заряженному Н-атому или электрону или тому и другому».

Так была высказана гипотеза о существовании нейтрона и тяжелого изотопа водорода. Она была высказана на основе предложенной М. Склодовской-Кюри гипотезы, что ядра атомов состоят из ядер водорода (протонов) и электронов.

Это представление немедленно объяснило характеристические ядерные числа A и Z .

Однако такие характеристики ядра, как массовое число A и заряд Z , оказались недостаточными. Еще в 1924 г. до открытия спина В. Паули предположил, что ядро обладает магнитным моментом, влияющим на движение орбитальных электронов и тем самым создающим сверхтонкую структуру спектральных линий. Объяснение тонкой структуры спектров наличием обусловленных спином магнитных моментов ядер привело к разделению ядер на два типа. Ядра четного типа, обладающие целым спином, подчиняются статистике Бозе, ядра нечетного типа, обладающие полуцелым спином, подчиняются статистике ферми – Дирака. Поэтому по протонно-электронной теории ядра, состоящие из четного числа электронов и протонов, должны подчиняться статистике Бозе, из нечетного – статистике ферми – Дирака.

В 1930 г. выяснилось, что ядро азота подчиняется статистике Бозе, хотя оно согласно протонно-электронной теории строения ядра состоит из 21 частицы (14 протонов, 7 электронов). Этот факт получил в науке название азотной катастрофы.

В том же году, когда обнаружилась азотная катастрофа, были опубликованы результаты опытов Л. Мейтнер и Ортмана, подтвердивших результаты опытов Эллиса и Вустера 1927 г. Эти опыты показали, что полная энергия (3-лучей, измеряемая толстостенным микрокалориметром, меньше разности энергий исходного и конечного ядер, т. е. часть энергии, испускаемая ядром при ρ -распаде, исчезает. Получается вопиющее противоречие с законом сохранения энергии.

Решение проблемы азотной катастрофы и загадки ρ -спектров было дано на основе представления о существовании в природе нейтральных частиц – тяжелой, названной нейтроном, и легкой – названной по предложению Ферми нейтрино, т. е. маленьким нейтроном.

История открытия нейтрона

История открытия нейтрона начинается с безуспешных попыток Чедвика обнаружить нейтроны при электрических разрядах в водороде (на основе вышеупомянутой гипотезы Резерфорда). Резерфорд, как мы знаем, осуществил первую искусственную ядерную реакцию, бомбардируя ядра атома α -частицами. Этим методом удалось также осуществить искусственные реакции с ядрами бора, фтора, натрия, алюминия и фосфора. При этом вылетали длиннопробежные протоны. В дальнейшем удалось расщепить ядра неона, магния, кремния, серы, хлора, аргона и калия. Эти реакции были подтверждены опытами венских физиков Кирша и Петтерсона (1924), которые утверждали также, что им удалось расщепить

ядра лития, бериллия и углерода, чего не удалось сделать Резерфорду и его сотрудникам.

Разгорелась дискуссия, в которой Резерфорд оспаривал расщепление указанных трех ядер. Недавно О. Фриш высказал предположение, что результаты венцев объясняются участием в наблюдениях студентов, стремившихся «угодить» руководителям и видевших вспышки там, где их не было.

В 1930 г. Вальтер Боте (1891-1957) и Г. Беккер бомбардировали бериллий α -частицами полония. При этом они обнаружили, что бериллий, а также бор испускают сильно проникающее излучение, которое они отождествили с жестким γ -излучением.

И января 1932 г. Ирен и Фредерик Жолио-Кюри доложили на заседании Парижской Академии наук результаты исследований излучения, открытого Боте и Беккером. Они показали, что это излучение «способно освобождать в водородсодержащих веществах протоны, сообщая им большую скорость».

Эти протоны были ими сфотографированы в камере Вильсона.

В следующем сообщении, сделанном 7 марта 1932 г., Ирен и Фредерик Жолио-Кюри показали фотографии следов протонов в камере Вильсона, выбиваемых из парафина бериллиевым излучением.

Интерпретируя свои результаты, они писали: «Предположения об упругих столкновениях фотона с ядром приводят к затруднениям, состоящим, с одной стороны, в том, что для этого требуется квант со значительной энергией, и, с другой стороны, в том, что этот процесс происходит слишком часто. Чедвик предлагает допустить, что излучение, возбуждаемое в бериллии, состоит из нейтронов – частиц с единичной массой и нулевым зарядом».

Результаты Жолио-Кюри поставили под угрозу закон сохранения энергии. В самом деле, если попытаться интерпретировать опыты Жолио-Кюри, исходя из наличия в природе только известных частиц: протонов, электронов, фотонов, то объяснение появления длиннопробежных протонов требует рождения в бериллии фотонов с энергией в 50 МэВ. При этом энергия фотона оказывается зависящей от вида ядра отдачи, используемого для определения энергии фотона.

Эту коллизию разрешил Чедвик. Он помещал бериллиевый источник перед ионизационной камерой, в которую попадали протоны, выбитые из парафиновой пластинки. Располагая между парафиновой пластинкой и камерой поглощающие экраны из алюминия, Чедвик нашел, что бериллиевое излучение выбивает из парафина протоны с энергией до 5,7 МэВ. Для сообщения протонам такой энергии фотон должен сам обладать энергией в 55 МэВ. Но энергия ядер отдачи азота, наблюдаемая при таком же бериллиевом излучении, оказывается равной 1,2 МэВ. Чтобы передать азоту такую энергию, фотон излучения должен иметь энергию по меньшей мере 90 МэВ. Закон сохранения энергии несовместим с фотонной интерпретацией бериллиевого излучения.



Чедвик показал, что все трудности снимаются, если предположить, что бе-риллиевое излучение состоит из частиц с массой, равной примерно массе протона, и нулевым зарядом.

Эти частицы он назвал нейтронами. Чедвик опубликовал статью о своих результатах в «Трудах Королевского общества» за 1932 г. Однако предварительная заметка о нейтроне была опубликована в номере «Nature» от 27 февраля 1932 г. В дальнейшем И. и ф.

Жолио-Кюри в ряде работ 1932-1933 гг. подтвердили существование нейтронов и их свойство выбивать протоны из легких ядер. Они установили также испускание нейтронов ядрами аргона, натрия и алюминия при облучении α -лучами.

История открытия нейтрона

История открытия нейтрона начинается с безуспешных попыток Чедвика обнаружить нейтроны при электрических разрядах в водороде (на основе вышеупомянутой гипотезы Резерфорда). Резерфорд, как мы знаем, осуществил первую искусственную ядерную реакцию, бомбардируя ядра атома α -частицами. Этим методом удалось также осуществить искусственные реакции с ядрами бора, фтора, натрия, алюминия и фосфора. При этом вылетали длиннопробежные протоны. В дальнейшем удалось расщепить ядра неона, магния, кремния, серы, хлора, аргона и калия. Эти реакции были подтверждены опытами венских физиков Кирша и Петтерсона (1924), которые утверждали также, что им удалось расщепить ядра лития, бериллия и углерода, чего не удалось сделать Резерфорду и его сотрудникам.

Разгорелась дискуссия, в которой Резерфорд оспаривал расщепление указанных трех ядер. Недавно О. Фриш высказал предположение, что результаты венцев объясняются участием в наблюдениях студентов, стремившихся «угодить» руководителям и видевших вспышки там, где их не было.

В 1930 г. Вальтер Боте (1891-1957) и Г. Беккер бомбардировали бериллий α -частицами полония. При этом они обнаружили, что бериллий, а также бор испускают сильно проникающее излучение, которое они отождествили с жестким γ -излучением.

И января 1932 г. Ирен и Фредерик Жолио-Кюри доложили на заседании Парижской Академии наук результаты исследований излучения, открытого Боте и Беккером. Они показали, что это излучение «способно освобождать в водородсодержащих веществах протоны, сообщая им большую скорость».

Эти протоны были ими сфотографированы в камере Вильсона.

В следующем сообщении, сделанном 7 марта 1932 г., Ирен и Фредерик Жолио-Кюри показали фотографии следов протонов в камере Вильсона, выбиваемых из парафина

бериллиевым излучением.

Интерпретируя свои результаты, они писали: «Предположения об упругих столкновениях фотона с ядром приводят к затруднениям, состоящим, с одной стороны, в том, что для этого требуется квант со значительной энергией, и, с другой стороны, в том, что этот процесс происходит слишком часто. Чедвик предлагает допустить, что излучение, возбуждаемое в бериллии, состоит из нейтронов – частиц с единичной массой и нулевым зарядом».

Результаты Жолио-Кюри поставили под угрозу закон сохранения энергии. В самом деле, если попытаться интерпретировать опыты Жолио-Кюри, исходя из наличия в природе только известных частиц: протонов, электронов, фотонов, то объяснение появления длиннопробежных протонов требует рождения в бериллии фотонов с энергией в 50 МэВ. При этом энергия фотона оказывается зависящей от вида ядра отдачи, используемого для определения энергии фотона.

Эту коллизию разрешил Чедвик. Он помещал бериллиевый источник перед ионизационной камерой, в которую попадали протоны, выбитые из парафиновой пластинки. Располагая между парафиновой пластинкой и камерой поглощающие экраны из алюминия, Чедвик нашел, что бериллиевое излучение выбивает из парафина протоны с энергией до 5,7 МэВ. Для сообщения протонам такой энергии фотон должен сам обладать энергией в 55 МэВ. Но энергия ядер отдачи азота, наблюдаемая при таком же бериллиевом излучении, оказывается равной 1,2 МэВ. Чтобы передать азоту такую энергию, фотон излучения должен иметь энергию по меньшей мере 90 МэВ. Закон сохранения энергии несовместим с фотонной интерпретацией бериллиевого излучения.



Дж. Чедвик

Чедвик показал, что все трудности снимаются, если предположить, что бериллиевое излучение состоит из частиц с массой, равной примерно массе протона, и нулевым зарядом.

Эти частицы он назвал нейтронами. Чедвик опубликовал статью о своих результатах в «Трудах Королевского общества» за 1932 г. Однако предварительная заметка о нейтроне была опубликована в номере «Nature» от 27 февраля 1932 г. В дальнейшем И. и Ф.

Жолио-Кюри в ряде работ 1932-1933 гг. подтвердили существование нейтронов и их свойство выбивать протоны из легких ядер. Они установили также испускание нейтронов ядрами аргона, натрия и алюминия при облучении α -лучами.

Протонно-нейтронная модель ядра

28 мая 1932 г. советский физик Д. Д. Иваненко опубликовал в «Nature» заметку, в

которой высказал предположение, что нейтрон является наряду с протоном структурным элементом ядра. Он указал, что такая гипотеза решает проблему азотной катастрофы. В самом деле, по этой гипотезе ядро азота состоит из 14 частиц – 7 протонов и 7 нейтронов и, таким образом, подчиняется статистике Бозе, как это было показано в 1930 г. Разетти из исследований рамановского спектра. В июне 1932 г. с большой статьей о протонно-нейтронной модели ядра выступил В. Гейзенберг.

Однако протонно-нейтронная модель ядра была встречена большинством физиков скептически. Она, как казалось, противоречила испусканию электронов ядрами в β -распаде. Гейзенберг вспоминал в 1968 г., что за предположение об отсутствии электронов в ядре его «довольно сильно критиковали самые крупные физики». Ион справедливо заключал, что это показывает, «как на самом деле трудно отказаться от вещей, которые кажутся настолько очевидными, что принимаются априорно». В соответствии с терминологией Аристотеля очень трудно отказаться от «явного для нас» для «явного по природе».

Идея о строении ядер только из тяжелых частиц с трудом принималась физиками. Мысль о том, что электронов внутри ядра нет, была высказана Дираком еще в 1930 г., но была законсервирована. Открытие нейтрона многими рассматривалось как несущественное – просто открыто сложное образование протона и электрона, так думал еще Резерфорд. Простую картину мира, в которой фундаментальными «кирпичиками мироздания» были протон и электрон, никто не хотел усложнять введением новых частиц.

В сентябре 1933 г. в Ленинграде состоялась конференция по атомному ядру, в которой принимали участие и иностранные ученые, ф. Жолио (он тогда еще не носил двойной фамилии) сделал два доклада: «Нейтроны» и «Возникновение позитронов при материализации фотонов и превращение ядер». П. Дирак сделал доклад о теории позитрона; ф. Перрен – о моделях ядра. С докладом о модели ядра выступил и Д. Д. Иваненко. Он энергично защищал протонно-нейтронную модель, сформулировав основной тезис: в ядре имеются только тяжелые частицы. «Появление электронов, позитронов и пр., – говорил Иваненко, – следует трактовать как своего рода рождение частиц, по аналогии с излучением светового кванта, также не имевшего индивидуального существования до испускания из атома». Д.Д.Иваненко отверг идеи 1) сложной структуре нейтрона и протона. По его мнению, обе частицы «должны, по-видимому, обладать одинаковой, степенью элементарности» т. е. и нейтрон и протон, обе элементарные частицы, могут переходить друг в друга, испуская электрон или позитрон. В дальнейшем протон и нейтрон стали рассматриваться как два состояния одной частицы – нуклона, и идея Иваненко стала общепринятой.

Космические лучи. Открытие позитрона

В 1932 г. в составе космических лучей была открыта еще одна элементарная частица – позитрон.

Еще в 1899 г. М. Склодовская-Кюри, пытаясь объяснить происхождение радиоактивности, выдвинула гипотезу о существовании излучения, заполняющего все мировое пространство. Утверждение, что «мы погружены в непрерывно действующее излучение, избежать которого мы не можем», высказал в 1906 г. Гейтель, описывая свои и Эльстера опыты по измерению ионизации в глубоких шахтах. Гейтель ссылаясь на утверждение Кука, высказанное в 1903 г., что «над Землей существует сильное проникающее излучение». Однако со всей определенностью существование космического излучения было доказано австрийским физиком Виктором Гессом, поднявшимся с электроскопом на воздушном шаре 7 августа 1912 г. О результатах своего эксперимента он сообщил в статье, опубликованной в ноябрьском номере «Physikalische Zeitschrift». Здесь он писал: «Результаты моих наблюдений лучше всего объясняются предположением, что из мирового пространства на границу атмосферы падает излучение большой проникающей способности». Так были открыты космические лучи. В 1936 г. Гессу за это открытие была присуждена

Нобелевская премия по физике.

Последующими работами ученых, в особенности американского физика Милладсена и советского физика Л. В. Мысовского (1888-1939), было подтверждено предположение Гесса и изучены свойства космического излучения.

Милликен и Мысовский, проведя измерения под водой, показали огромную проникающую способность этих лучей. Милликен считал космическое излучение чрезвычайно жесткими у-лучами, и эта точка зрения была общепринятой до 30-х годов XX в.

В 1929 г. советский физик Д. В. Скобельцын применил для исследования космических лучей камеру Вильсона, помещенную в магнитное поле. Метод Скобельцына сразу привел к важному открытию. Скобельцын неопровержимо доказал, что в составе космического излучения имеются заряженные частицы—электроны. Он обнаружил слабо изогнутые магнитным полем следы таких электронов. На его фотографиях были и следы, слабо изогнутые в противоположную электронам сторону, однако с уверенностью сказать что-либо определенное о частицах, оставивших эти следы, Скобельцын не мог.

В 1932 г. американский физик К. Андерсон ввел усовершенствование в метод Скобельцына: он применил магнитное поле, в десять раз сильнее поля, применявшегося Скобельцыным. При этом он сразу обнаружил изогнутые следы, принадлежащие отрицательно и положительно заряженным частицам: электронам и протонам, как он думал вначале.

Чтобы с уверенностью судить о направлении движения частицы, Андерсон разделил камеру на две части свинцовой пластинкой. Частица, пройдя через свинцовую пластинку, замедляется, и ее путь искривляется магнитным полем сильнее. Андерсон получил фотографию частицы, изогнутой в противоположную электронам сторону. Радиус кривизны и характер трека показали, что эта частица обладает массой электрона и положительным зарядом, равным заряду электрона. Эту частицу Андерсон назвал позитрон.

Открытие позитрона заставило вспомнить о теории Дирака. В 1928 г. Дирак получил релятивистское уравнение для электрона. Это уравнение приводило к выводу о существовании спина у электрона и давало точное значение для тонкой структуры энергетических уровней водорода. Однако в теории Дирака была неприятная вещь, получившая название «плюс-минус трудность». В теории относительности существует для энергии соотношение:

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2,$$

откуда:

$$E = \pm \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2}.$$

Обычно знак минус отбрасывается как не имеющий физического смысла. Область положительных и отрицательных значений энергии была разделена конечным промежутком $+m_0 c^2 - (-m_0 c^2) = 2m_0 c^2$. Поскольку в классической теории энергия меняется непрерывно, отрицательные значения энергии отбрасываются. В квантовой теории скачок энергии от отрицательных к положительным значениям допустим. «В квантовой теории, — писал Дирак в 1930 г. в своей книге «Основы квантовой механики», — могут происходить и прерывные переходы, и если электрон первоначально находится в состоянии с положительной кинетической энергией, то он может перескочить в состояние с отрицательной кинетической энергией. Поэтому уже нельзя игнорировать существование состояний с отрицательной энергией, как можно было поступить в классической теории».

В поисках выхода Дирак предложил странную идею. Он предположил, что все электроны Вселенной занимают уровни с отрицательной энергией, согласно принципу Паули, образуя ненаблюдаемый фон. Наблюдаем^ только электроны с положительной энергией. «Электроны, — пишет Дирак, — распределены по всему миру с большой плотностью в каждой точке. Совершенная пустота есть та область, где все состояния с отрицательной

энергией заняты». «Незаполненные состояния с отрицательной энергией представляются как нечто с положительной энергией, потому что для того, чтобы они исчезли, необходимо внести туда один электрон с отрицательной энергией. Мы предполагаем, что эти незанятые состояния с отрицательной энергией суть протоны».

Теория Дирака была встречена скептически. Вызвал недоверие гипотетический фон электронов, кроме того, теория Дирака, по его словам, «была очень симметрична по отношению к электронам и протонам»-

Но протон отличается от электрона не только знаком заряда, но и массой. Открытие позитрона, частицы действительно симметричной электрону, заставило по-новому оценить теорию Дирака, которая по существу предсказывала существование позитрона и других античастиц. На Ленинградской конференции 1933 г. Дирак следующим образом излагал сущность теории позитрона: «Допустим, что в том мире, который мы знаем, почти все электронные состояния с отрицательной энергией заняты электронами. Эта совокупность электронов, сидящих на отрицательных уровнях энергии, вследствие своей однородности не может восприниматься нашими чувствами и измерительными приборами, и только лишь незанятые электронами уровни, являясь чем-то исключительным, каким-то нарушением однородности, могут быть замечены нами совершенно таким же образом, как мы замечаем занятые состояния электронов с положительными энергиями. Незанятые состояния с отрицательной энергией, т.е. «дырки» в распределении электронов с отрицательной энергией, будут восприниматься нами как частицы с положительной энергией; ведь отсутствие отрицательной кинетической энергии равносильно присутствию положительной кинетической энергии, так как минус на минус дает плюс... Представляется разумным отождествить такую «дырку» с позитроном, т.е. утверждать, что позитрон есть «дырка» в распределении электронов с отрицательной энергией».

Естественно, что на незанятый уровень отрицательной энергии может переходить электрон с положительной энергией, излучая избыточную энергию $2m_0c^2$ в виде квантов γ -лучей.

«Согласно теории Дирака, – писал Ф. Жолио, – положительный электрон при столкновении со свободным или слабо связанным отрицательным электроном может исчезать, образуя два фотона, испускаемых в противоположных направлениях. Энергия каждого из фотонов составляет $0,5 \cdot 10^6$ эВ; сумма этих энергий, равная 10^6 эВ, соответствует аннигиляции массы двух электронов».

Существует и обратный процесс – «материализация» фотонов, когда «фотоны с достаточно большой энергией при столкновении с тяжелыми ядрами могут создавать положительные электроны... фотон, взаимодействуя с ядром, может создать два электрона с противоположными зарядами».

На Ленинградской конференции Жолио демонстрировал фотографию в камере Вильсона, на которой было зарегистрировано рождение пары электрон – позитрон.

Ускорители

Богатый событиями в ядерной физике 1932 г. ознаменовался и другими важными достижениями в этой области. Главнейшим из этих достижений было расщепление ядра лития искусственно ускоренными протонами. Еще в 1922 г. Резерфорд, сравнивая ядра с хорошо защищенной крепостью, указывал, что «лишь α -частицы, как наиболее концентрированные источники энергии, являются наиболее подходящими для нападения на эти хорошо защищенные сооружения». Далее он говорил: «Если бы в нашем распоряжении были заряженные атомы с энергией, в десять раз превосходящей энергию α -частицы радия, то, вероятно, мы могли бы проникнуть в нуклеарную структуру всех атомов, а иногда вызвать их разрушение».

Частицы, ускоряемые сегодня на Серпуховском ускорителе, обладают энергией, в тысячу раз большей, чем та, о которой мечтал Резерфорд. Путь к получению частиц высокой

энергии начался в 30-х годах. Именно тогда начали разрабатывать ускорители заряженных частиц. Уже в 1928 г. с помощью последовательно соединенных трансформаторных обмоток удалось получить напряжение 750 кВ. В 1931 г. Ван-де-Граф построил электростатический ускоритель, позволяющий ускорить ионы до нескольких миллионов электрон-вольт.

В 1930 г. в Кембридже Кокрофт и Уолтон, применяя каскадный метод увеличения напряжения, получили водородные ионы, ускоренные до нескольких сот киловольт. В 1932 г., направляя усиленные таким образом ионы на литиевую мишень, они осуществили расщепление ядра ${}^3\text{Li}7$ на два ядра гелия. Ядра гелия разлетались с энергией около 8,5 МэВ. Это была первая ядерная реакция, осуществленная на ускорителе, и авторы ее Джон Кокрофт (1897-1967) и Э. Уолтон были удостоены в 1951 г. Нобелевской премии.

В 1931 г. Слоан и Лоуренс (1901-1958) построили линейный ускоритель ионов, в котором ионы, проходя через ряд цилиндров увеличивающейся длины, ускорялись высокочастотным напряжением, подобранным так, что в зазоре между цилиндрами ионы попадали в ускоряющую фазу.

Но особенно важным для развития ядерной физики было создание циклического ускорителя – циклотрона.

Принцип циклотрона был предложен Лоуренсом и Эдлефсенем в 1930 г. В 1932 г. под руководством Лоуренса был построен циклотрон с диаметром полюсных наконечников 28 см, ускоряющий протоны до 1,2 МэВ. В 1939 г. Лоуренс за изобретение циклотрона был удостоен Нобелевской премии.

В июле 1932 г. на V Международной конференции по электричеству состоялось обсуждение проблем ядерной физики. С обзорным докладом «Современное состояние физики атомного ядра» выступил Энрико ферми. В этом докладе ферми все еще держался гипотезы: «Все атомные ядра состоят из двух частиц – электронов и ядер водорода (протонов)». Далее ферми указывал, что некоторые ядра «обладают собственным механическим моментом», выраженным целым или полуцелым числом в единицах $\hbar/2\pi$. Существование момента ядра обнаруживается в таких явлениях:

а) чередование интенсивностей в полосатых спектрах;

б) сверхтонкая структура спектральных линий атомов.

ферми указывал далее, что «любая система из протонов и электронов должна:

а) подчиняться статистике Бозе – Эйнштейна или принципу Паули в зависимости от того, является ли число частиц этой системы четным или нечетным;

б) иметь собственный момент, равный целому числу или кратному целому числу, деленному на 2, в зависимости от того, четно или нечетно число частиц в системе».

Ядро азота не подчиняется этим правилам, согласно которым для ядра азота должен быть справедлив принцип Паули, в то время как наблюдения Разетти над раман-эффектом для молекулы азота показали, вне всякого сомнения, что для ядра азота справедлива статистика Бозе – Эйнштейна. «Отсюда был сделан вывод, – пишет ферми, – что эта аномалия возникает вследствие того, что ядро атома азота содержит нечетное число электронов».

Как видно, в июле 1932 г. азотная катастрофа продолжала существовать.

Ферми подробно останавливается на теории α -распада, предложенной Гамовым в 1928 г. Гамов (1904-1968), а также Герни и Кондон (1902-1974) применяли к испусканию α -частицы ядром идеи волновой механики, развитые для анализа прохождения частиц через потенциальный барьер. Эта теория была одним из достижений новой квантовой механики.

В отношении ν -распада существует трудность, связанная с непрерывным спектром энергии ν -частиц. «Этот факт, – писал ферми, – имеет большую теоретическую важность, поскольку он, по-видимому, находится в противоречии со всеми теориями атомного ядра, в которых предполагается справедливость принципа сохранения энергии». Ферми упоминает о гипотезе Паули, предпринятой для объяснения этого противоречия. Он пишет: «Согласно предположению Паули было бы возможно вообразить, что внутри атомного ядра находятся нейтроны, которые испускались бы одновременно с (β -частицами. Эти нейтроны могли бы

проходить через большие толщи вещества, практически не теряя своей энергии, и потому были бы практически ненаблюдаемы».

Ферми пришлось употребить в своем докладе слово «нейтрон» дважды. В заключительных заметках он говорит об интерпретации Чедвиком берил-лиевого излучения:

Э. Ферми



«Продолжая опыты Боте, а также И. Кюри и ф. Жолио, Чедвик сумел доказать, что излучение бериллия способно сообщить движение также ядрам тяжелее протона; в связи с этим он выдвинул гипотезу, что излучение бериллия представляет собой не у-лучи, а нейтроны с массой, равной массе протона».

Термин «нейтрон» сохранился для нейтральных частиц с массой протона. «Нейтроны» же Паули по предложению ферми были названы на Сольвеевском конгрессе 1933 г. «нейтрино». На конгрессе же 1932 г. ферми пришлось давать разъяснение по поводу термина «нейтрон» в β -распаде. Ему резонно возразили, что нейтроны из-за их массы не могут играть той роли, какая им приписывалась гипотезой Паули, ферми отвечал, что «такими нейтронами являются не те, которые были открыты, но нейтроны с гораздо меньшей массой». Именно ферми в дальнейшем удалось построить теорию (β -распада, основанную на гипотезе нейтрино.

В 1933 г. происходило освоение идей, внесенных в ядерную физику. Помимо уже упоминавшейся конференции по атомному ядру, состоявшейся в Ленинграде в сентябре 1933 г., проблемы ядра обсуждались на Седьмом Сольвеевском конгрессе, состоявшемся в октябре 1933 г. Конгресс был очень представительным, председательствовал П. Ланжевен. В работе конгресса принимали участие Э. Резерфорд, Н. Бор, М. Склодовская-Кюри, Дж. Чедвик, П. Блэккет, Дж. Кокрофт, В. Боте, В. Гейзенберг, Э. Шредингер, В. Паули, Э. ферми, Луи де Бройль, П. Дирак и другие физики. От советских ученых в конгрессе принимал участие А. ф. Иоффе.

На конгрессе большое место заняли выступления сотрудников Кавендиш-ской лаборатории во главе с Резерфордом. Кокрофт доложил о своих и Уолтона опытах по расщеплению ядер лития ускоренными протонами, Чедвик сделал доклад об открытии нейтрона, об открытии нейтрона говорили также ф. Жолио и И. Кюри, Блэккет рассказал об открытии позитрона, в котором важную роль сыграли его и Оккиалини исследования с использованием камеры Вильсона, управляемой счетчиками Гейгера – Мюллера. В этих исследованиях были открыты ливни космических частиц, состоящие из позитронов и электронов. (Первые ливни были открыты Д. В. Скобельцыным еще в 1929 г.) Лоуренс доложил об опытах с циклотроном, Гейзенберг – о протонно-нейтронной модели ядра.

Новые идеи прозвучали на Сольвеевском конгрессе во весь голос, их горячо поддерживал основоположник науки о ядре Э. Резерфорд. «Центральной фигурой на Сольвеевском конгрессе, – вспоминал Бор, – был, конечно, Резерфорд, как всегда с необыкновенной энергией принимавший участие во многих дискуссиях». Его ученики и он сам много способствовали развитию «современной алхимии», как называл Резерфорд науку о превращении ядер. Это было последнее его участие в Сольвеевском конгрессе, да и сам конгресс по существу был последним. Международное научное общение было нарушено захватом власти в Германии фашистами и второй мировой войной.

Заметим, что протонно-нейтронная модель ядра, предложенная Иваненко, была активно поддержана Гейзенбергом. Она была высказана Майораной, опубликовавшим в 1933 г. статью о модели ядра, состоящего из протонов и «нейтральных протонов». Период протонно-электронной модели ядра кончился, начался новый плодотворный период в развитии ядерной физики, проходивший под знаком протонно-нейтронной модели ядра.



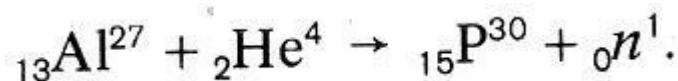
Физический семинар в Копенгагене. Сидят слева направо: Бор, Гейзенберг, Паули, Гамов, Ландау

Искусственная радиоактивность

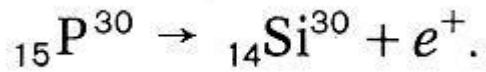
Новый период в развитии ядерной физики начался фундаментальными открытиями. 15 января 1934 г. на заседании Парижской Академии наук Фредерик Жолио и Ирен Кюри сообщили об открытии ими нового вида радиоактивности. «Нам удалось доказать методом камеры Вильсона, – сообщали они, – что некоторые легкие элементы (бериллий, бор, алюминий) испускают положительные электроны при бомбардировке их α -частицами полония».

«Испускание положительных электронов некоторыми легкими элементами, подвергнутыми облучению α -лучами полония, продолжается в течение некоторого более или менее продолжительного времени после удаления источника α -лучей. В случае бора, например, это время достигает получаса».

Ф. Жолио и И. Кюри, исследуя это явление, показали, что в этом случае возникает новый этап радиоактивности, сопровождаемый испусканием положительных электронов. «Мы полагаем, – писали они, – что в случае алюминия реакция происходит следующим образом:



Изотоп фосфора ${}_{15}\text{P}^{30}$ является радиоактивным. Он обладает периодом полураспада 3 мин 15 с и испускает положительный электрон согласно реакции:



Для бора и магния можно себе представить аналогичные реакции, приводящие к образованию неустойчивых ядер ${}^7\text{N}13$ и ${}^{14}\text{Si}27$. Изотопы ${}^7\text{N}13$, ${}^{14}\text{Si}27$, ${}^{30}\text{P}30$ не наблюдаются в природе, так как они могут существовать только в течение очень короткого времени». Заканчивая свое короткое сообщение, ф. Жо-лио и И. Кюри писали: «Таким образом в настоящей работе удалось впервые при помощи внешнего воздействия вызвать у некоторых атомных ядер радиоактивность, которая сохраняется в течение измеримого времени в отсутствие вынуждающей причины».

Это было открытие огромной важности. Радиоактивность, которая была присуща некоторым элементам, не могла быть ни вызвана, ни уничтожена, ни как-либо изменена человеком. Супруги Жолио-Кюри впервые искусственно вызвали радиоактивность, создав новые радиоактивные изотопы, не наблюдаемые до этого в природе. Явление, открытое Жолио-Кюри, получило название «искусственная радиоактивность».

Шведская Академия наук оценила принципиальную важность открытия супругов Жолио-Кюри и присудила им в 1935 г. Нобелевскую премию по химии.

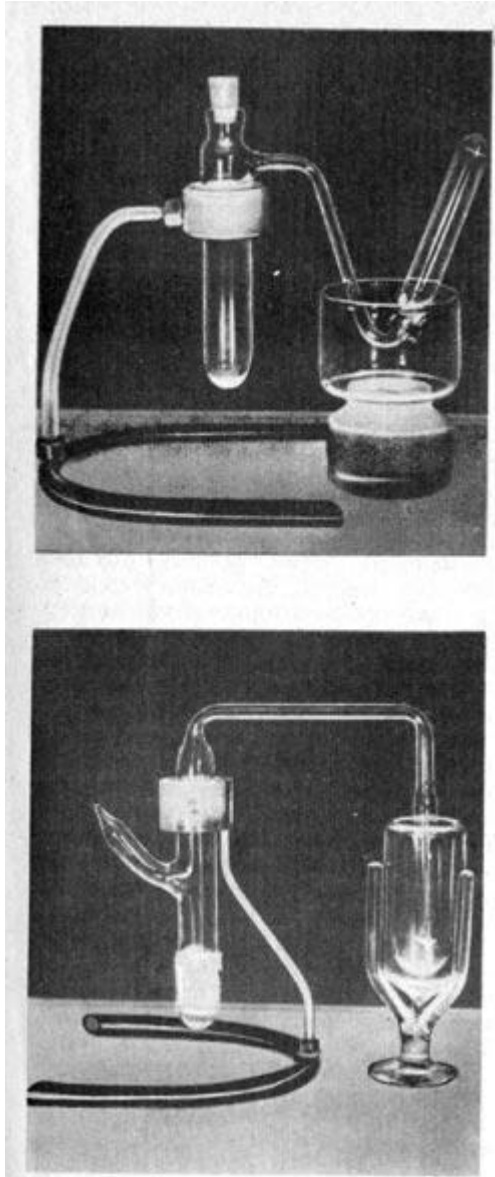


Рис. 81. Приборы И. и Ф. Кюри, с которыми была получена искусственная

радиоактивность

Фредерик Жолио, принявший позже фамилию Жолио-Кюри, родился 19 марта 1900 г. в семье скобяного мастера Анри Жолио, участника Парижской Коммуны. С 1908 по 1917 г. он учился в лицее Лаканаль, затем в связи с войной был мобилизован в армию, но в войне участвовать ему не пришлось. Война кончилась, и Жолио получил отсрочку для продолжения образования. Чтобы пополнить знания в области точных наук (лицей Лаканаль был школой гуманитарного типа), Жолио поступил в лицей Лавуазье. Окончив его в 1919 г. первым учеником, он поступил в Парижскую школу физики и химии, где когда-то был профессором Пьер Кюри, а теперь преподавал физику Поль Ланжевен.

По окончании школы Фредерик Жолио работал инженером-практиком на сталелитейных заводах. Однако в связи с окончанием отсрочки он был призван в армию и поступил в артиллерийскую школу в Пуатье. По окончании училища новоиспеченный сублейтенант по рекомендации Ланжевена поступил в препараты к Марии Кюри в Институт радия. Здесь он встретился со своей будущей женой, дочерью Пьера и Марии Кюри, Ирен. Брак Ирен Кюри и Фредерика Жолио был зарегистрирован 4 октября 1926 г. С тех пор начался их совместный научный и жизненный путь.

Ирен Кюри была старше Фредерика Жолио, она родилась 12 сентября 1897 г. Она закончила Парижский университет в 1920 г. и начала работать в лаборатории матери. К моменту, когда ф. Жолио поступил препаратом в Институт радия (1925), она защитила докторскую диссертацию. Фредерик Жолио-Кюри защитил докторскую диссертацию в 1930 г., на пять лет позже жены. В 1937 г. он стал профессором ядерной химии в Коллеж де Франс, а через 10 лет после смерти Ланжевена – профессором экспериментальной физики. Ирен после смерти матери в 1934 г. стала ее преемницей на кафедре физики в Парижском университете.



И. Жолио-Кюри

В военные годы Фредерик и Ирен Жолио-Кюри были активными участниками движения Сопротивления, а в послевоенные годы активными борцами за мир. В 1942 г., в трудный год войны, Фредерик Жолио-Кюри вступил в Коммунистическую партию Франции. Он с 1949 г. и до самой смерти возглавлял Всемирный Совет Мира, был организатором движения сторонников мира. Ирен Жолио-Кюри была членом Всемирного Совета Мира, участником конгрессов сторонников мира.

Под руководством Фредерика Жолио-Кюри 15 декабря 1948 г. был пущен первый французский ядерный реактор. Сам Жолио-Кюри до 1950 г. занимал пост Верховного комиссара по атомной энергии Франции. Ирен Жолио-Кюри умерла 17 марта 1956 г. от лучевой болезни. В мае 1958 г. ф. Жолио-Кюри последний раз посетил СССР, встретился со

своими друзьями И. В. Курчатовым, Д. В. Скобельцыным и другими советскими физиками, верным другом которых он был всю свою жизнь. Умер ф. Жолио-Кюри 14 августа 1958 г.

Ф. Жолио-Кюри



Опыты Ферми

Вернемся к открытию искусственной радиоактивности. Оно вызвало широкий резонанс, и в короткое время был получен ряд новых радиоактивных изотопов. Но особенно важными были исследования Э. ферми и его сотрудников, начавшиеся весной 1934 г. ферми пошел совершенно по новому пути, он начал облучать элементы нейтронами.

Ферми решил, как он писал в статье «Радиоактивность, наведенная нейтронной бомбардировкой», «выяснить, не вызывает ли нейтронная бомбардировка наведенной радиоактивности – явления, аналогичного наблюдаемому супругами Жолио при облучении α -частицами». Это было неожиданно и смело. «Я помню, – писал О. Фриш, – что моя реакция и реакция многих других была скептической: эксперимент Ферми казался бессмысленным, потому что нейтронов было много меньше, чем α -частиц». В самом деле, супруги Жолио и другие физики бомбардировали элементы α -частицами, вылетающими из радиоактивного препарата. В опытах же ферми эти частицы сначала использовались для получения нейтронов, которых выделялось очень немного, а затем уже начиналось облучение элементов полученными нейтронами. «Стреляли» не «снарядами», а продуктами попадания этих снарядов. Сами «нейтронные пушки» ферми были маленькими трубочками в несколько сантиметров, заполненными смесью бериллия и радона. Вот как ферми описывал один из таких источников нейтронов размером всего 1,5 см: «Это была стеклянная трубочка..., в которой находились зерна бериллия; раньше чем запаять трубочку, надо было ввести в нее некоторое количество эманации радия. Альфа-частицы, испускаемые радоном, в большом числе сталкиваются с атомами бериллия и дают нейтроны...»

«Опыт выполняется следующим образом. В непосредственной близости от источника нейтронов помещается пластинка алюминия, или железа, или вообще того элемента, который желательно изучить, и оставляется на некоторое время, которое может составлять минуты, часы, дни (в зависимости от случая). Нейтроны, вылетающие из источника, ударяют в какие-либо из ядер вещества. При этом происходит множество реакций самого различного типа».

В первом сообщении, датированном 25 марта 1934 г., ферми, бомбардировавший алюминий и фтор, получил изотопы натрия и азота, испускающие электроны (а не позитроны, как у Жолио-Кюри). Метод нейтронной бомбардировки оказался очень

эффективным, и ферми писал, что эта высокая эффективность в осуществлении расщеплений «вполне компенсирует слабость существующих нейтронных источников по сравнению с источниками α -частиц и протонов». Ему удалось этим методом активизировать 47 из 68 изученных элементов.

Воодушевленный успехом, он в сотрудничестве с ф. Разетти и О. Д. Агостино предпринял нейтронную бомбардировку тяжелых элементов: тория и урана. «Опыты показали, что оба элемента, предварительно очищенные от обычных активных примесей, могут сильно активизироваться при бомбардировке нейтронами». Среди активных продуктов бомбардировки урана было найдено три с периодом полураспада 10 с, 40 с, 13 мин и еще два с периодом от 40 мин до одного дня. При этом оставалось неясным, «представляют ли эти периоды последовательные или альтернативные процессы распада».

Ферми со своими сотрудниками предпринял попытку химической идентификации β -активного продукта с периодом полураспада 13 мин. Он установил, что 13-минутная активность может быть обусловлена изотопами урана ($Z = 92$), протактиния ($Z = 91$), тория ($Z = 90$), актиния ($Z = 89$), ра-дет ($Z = 88$), висмута ($Z = 83$), свин-qa ($Z = 82$), а также «экацезия» ($Z = 87$) и радона ($Z = 86$). Ни один из тяжелых элементов не является химическим аналогом радиоактивного продукта с 13-минутным периодом. Естественно, что ферми и в голову не приходило сравнивать его с элементами из середины периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, и он сделал предположение, что «атомный номер соответствующего элемента может быть больше 92». Так появилась гипотеза трансурановых элементов.

Э. Резерфорд с большим интересом следил за опытами ферми. Еще 23 апреля 1934 г. он писал ему: «Ваши результаты очень интересны, и нет никакого сомнения, что в дальнейшем нам удастся получить больше сведений о действительном механизме этих превращений». Летом сотрудники ферми Э. Сегре и Э. Амальди были в Кембридже у Резерфорда и привезли ему обзорную статью «Искусственная радиоактивность, наведенная нейтронной бомбардировкой», авторами которой были Э. ферми, Э. Амальди, О. Д'Агостино, ф. Разетти и Э. Сегре. Статья содержала полный отчет об опытах, проводившихся в физической лаборатории Римского университета. Резерфорд, как президент Лондонского Королевского общества, передал статью для публикации в «Трудах» общества.

Статья появилась в том же, 1934 г. В ней говорилось и о бомбардировке урана, причем в числе продуктов бомбардировки был идентифицирован еще элемент с 90-минутным периодом полураспада. «90-минутный и 13-минутный активные продукты, – говорилось в статье, – обладают, по-видимому, совершенно аналогичными химическими свойствами, так как в реакции любого типа они получаются примерно в одинаковой пропорции. Поэтому обе эти активности, по-видимому, обусловлены продуктами с атомами номером выше 92, – возможно, изотопами одного и того же элемента».

22 октября 1934 г. ферми сделал фундаментальное открытие. Поместив между источником нейтронов и активируемым серебряным цилиндром парафиновый клин, ферми заметил, что клин не уменьшает активность нейтронов, а несколько увеличивает ее. ферми сделал вывод, что этот эффект, по-видимому, обусловлен наличием водорода в парафине, и решил проверить, как будет влиять на активность расщепления большое количество водородсо-державших элементов. Проведя опыт сначала с парафином, потом с водой, ферми констатировал увеличение активности в сотни раз. В статье «Влияние водородсодержащих веществ на радиоактивность, наведенную нейтронами», написанную ферми совместно с Э. Амальди, Б. Понтекорво, ф. Разетти и Э. Сегре, было выдвинуто следующее объяснение этих фактов: «Нейтроны быстро теряют энергию в ряде повторных столкновений с ядрами водорода... можно ожидать, что после нескольких соударений нейтроны будут двигаться подобно молекулам диффундирующего газа, достигая в конечном счете энергий, соответствующих тепловому движению». Опыты ферми обнаружили огромную эффективность медленных нейтронов.

Теория в-распада Ферми

Таким образом, Э. ферми в 1934 г. добился замечательных результатов, идя по избранному им пути. Но, помимо этих экспериментальных результатов, 1934 г. был годом замечательных теоретических достижений ферми. Уже в декабрьском номере 1933 г. итальянского журнала «Ricerca Scientifica» были опубликованы его предварительные соображения о в-распаде; в начале 1934 г. в «Zeitschrift fur Physik» была опубликована его классическая статья «К теории р-лучей». Авторское резюме статьи гласит: «Предлагается количественная теория р-распада, основанная на существовании нейтрино; при этом испускание электронов и нейтрино рассматривается по аналогии с эмиссией светового кванта возбужденным атомом в теории излучения. Выведены формулы из времени жизни ядра и для формы непрерывного спектра в-лучей; полученные формулы сравниваются с экспериментом».

Ферми в этой теории дал жизнь гипотезе нейтрино и протонно-нейтронной модели ядра, приняв также гипотезу изотопического спина, предложенную Гейзенбергом для этой модели В основу своей теории ферми кладет следующие предложения:

а) Полное число электронов, равно как и число нейтрино, не обязательно должно быть постоянным. Электроны (или нейтрино) могут возникать и исчезать...

б) Тяжелые частицы, нейтроны и протоны, можно рассматривать, следуя В. Гейзенбергу, как два внутренних квантовых состояния тяжелой частицы. Сформулируем это, введя некоторую внутреннюю координату тяжелой частицы p , могущую принимать только два значения: $p = 1$, когда частица является протоном, и $p = -1$, если она оказывается нейтроном.

в) Гамильтонову функцию системы из тяжелых и легких частиц нужно выбрать таким образом, чтобы каждый переход нейтрона в протон сопровождался возникновением электрона и нейтрино, а обратный процесс – превращение протона в нейтрон – сопровождался исчезновением электрона и нейтрино. Заметим, что тем самым обеспечивается сохранение заряда».

Комментируя теорию ферми, ф. Ра-зетти писал: «Построенная им на этой основе теория оказалась способной выдержать почти без изменения два с половиной десятилетия революционного развития ядерной физики. Можно было бы заметить, что физическая теория редко рождается в столь окончательной форме».

Ферми представлял собой необыкновенное в физике XX в. сочетание глубокого теоретика с первоклассным экспериментатором.

«Великий итальянский физик Энрико ферми, – писал Бруно Понтекорво, – занимает особое место среди современных ученых: в наше время, когда узкая специализация в научных исследованиях стала типичной, трудно указать столь же универсального физика, которым был ферми. Можно даже сказать, что появление на ученой арене XX в. человека, который внес такой громадный вклад в развитие теоретической физики, и экспериментальной физики, и астрономии, и технической физики, – явление скорее уникальное, чем редкое».

Энрико ферми родился 29 сентября 1901 г. в Риме, в семье служащего. У него очень рано появились способности к точным наукам. Он учился в Нормальной школе города Пиза с 1918 по 1922 г., затем по протекции доцента физического института Римского университета сенатора Корбино получил временную должность преподавателя математики для химиков в Римском университете. В 1923 г. он получает командировку в Германию, в Геттинген, к Максуду Борну. ферми чувствует себя не очень уверенно, и лишь большая моральная поддержка Эрен-феста, у которого он был в Лейдене с сентября по декабрь 1924 г., помогла ему поверить в свое призвание физика.

По возвращении в Италию ферми с января 1925 до осени 1926 г. работает в флорентийском университете. Здесь он получает свою первую ученую степень «свободного доцента» и – что самое главное – создает свою знаменитую работу по квантовой статистике.

В декабре 1926 г. он занял должность профессора вновь утвержденной кафедры теоретической физики в Римском университете. Здесь он организовал коллектив молодых физиков: Разетти, Амальди, Сегре, Понтекорво и других, составивших итальянскую школу современной физики.

В Риме ферми работал до 1938 г. фашистский режим угрожал благополучию его семьи из-за еврейского происхождения его жены Лауры. Уехав в Стокгольм за получением Нобелевской премии вместе с семьей, ферми не вернулся в Италию, а поехал в Нью-Йорк, где стал профессором физики Колумбийского университета.

Американский период жизни ферми связан с работой над получением атомной энергии. Под его руководством 2 декабря 1942 г. в Чикаго был запущен первый в мире ядерный реактор, ферми принимал активное участие в испытании атомной бомбы. 16 июня 1945 г. он был одним из тех ученых, которые рекомендовали сбросить атомные бомбы на Японию, назвав варварскую бомбардировку Хиросимы «красивой физикой». После войны он стал профессором физики Чикагского университета и сотрудником только что организованного Института ядерных проблем.

Умер ферми 29 ноября 1954 г.

Возвращаясь к 1934 г., следует отметить гипотезу о природе ядерных сил, высказанную независимо друг от друга Д. Д. Иваненко и И. Е. Таммом. В статье, опубликованной в «Nature» в 1934 г., Тамм рассмотрел ядерные взаимодействия как процесс обмена легкими частицами между нуклонами. Теория Тамма не давала количественного совпадения, однако общая идея ядерных взаимодействий, высказанная Иваненко и Таммом, сохранилась в ядерной физике. В 1935 г. Хидеки Юкава на основе этой идеи предсказал существование частиц промежуточной массы (мезонов), ответственных за ядерные взаимодействия. Частицы промежуточной массы порядка 200 электронных масс были, действительно, открыты в космических лучах Андерсоном и Нед-дермайеером в 1937 г. Однако вскоре выяснилось, что эти частицы, названные позже μ -мезонами, не имеют отношения к нуклонам. Только через 10 лет С. Пауэлл также в космических лучах нашел более тяжелые π -мезоны, порождающие и поглощающие нуклоны в процессе ядерных взаимодействий.

Открытие ядерной изомерии

В 1935 г. советские физики И. В. Курчатов, Б. В. Курчатов, Л. И. Русинов, Л. В. Мысовский открыли явление ядерной изомерии для радиоактивного брома Br^{80} . В этом же году И. В. Курчатов работал с реакциями на медленных нейтронах. При этом была выяснена сложная зависимость поглощения нейтронов от скорости, и в частности факт резонансного поглощения нейтронов, факт резонансного поглощения нейтронов был установлен ферми. Курчатов обобщил результаты исследований по расщеплению ядра в вышедшей в 1935 г. книге «Расщепление атомного ядра».

Э. ферми, продолжая исследования радиоактивности, возбужденной нейтронной бомбардировкой, подтвердил существование ядерной изомерии, открытой Курчатовым. «Мы, – писали ферми, Амальди, Д'Агостино, Понтекорво, Сегре, – также констатировали существование третьего радиоактивного изотопа Br с периодом около 36 ч, обнаруженного Курчатовым и др., подтвердили их опыты по γ -лучам».

В работе 1936 г. «О поглощении и диффузии медленных нейтронов», написанной совместно с Э. Амальди, Э. Ферми также подтвердил открытое И. В. Курчатовым, Л. А. Арцимовичем, Л. В. Мысовским резонансное поглощение нейтронов. Закон зависимости поглощения нейтронов, согласно которому сечение захвата обратно пропорционально скорости нейтронов, нарушается в ряде случаев. Для определенных скоростей некоторые элементы особенно сильно поглощают нейтроны. Но наиболее волнующим оставался вопрос о трансурановых элементах. В работе по искусственной радиоактивности ферми писал: «Путем различных химических экспериментов Ган и Мейтнер (здесь ферми ссылается на

статью О. Гана и Л. Мейтнер, опубликованную в том же, 1935 г. – П.К.) также пришли к выводу, что 13-минутная и 100-минутная активности обусловлены, по всей вероятности, трансурановыми элементами. Мы повторили некоторые из их опытов и получили те же самые результаты».

ферми придерживается высказанной концепции в нобелевской лекции 1938 г. Говоря об активных носителях, полученных из урана при бомбардировке их нейтронами, он заключает: «Мы пришли к выводу, что носителем был один или более элементов, с атомным номером большим 92. Элементы 93, 94 у себя в Риме мы назвали авсонием и гесперием соответственно. Известно, что О. Ган и Л. Мейтнер провели очень тщательное и обширное изучение продуктов распада облученного урана и сумели отыскать среди них элементы вплоть до атомного номера 96».

Речь была напечатана в Стокгольме в 1939 г., и при этом ферми пришлось сделать примечание, указывающее на необходимость пересмотра «всей проблемы трансурановых элементов» в связи с открытием Гана и Штрассмана.

Деление урана

Остановимся на истории этого открытия. Оно явилось завершением целого ряда поисков и ошибок.

Вскоре после сообщения ферми о трансурановых элементах немецкий химик Ида Ноддак опубликовала в химическом журнале статью, в которой указывала, что под воздействием нейтронов ядра распадаются на изотопы, отнюдь не являющиеся соседями бомбардирующих элементов, ферми, Ган и другие физики сочли предположение Ноддак абсурдным.

В 1936 г. вопросом о захвате нейтронов заинтересовался Бор. В опубликованной в «Nature» статье «Захват нейтрона и строение ядра» он указал, что «типичные черты ядерных реакций проявляются при столкновении с нейтронами», и отметил, что «наиболее интересные данные получены ферми и его сотрудниками по искусственной радиоактивности при бомбардировке как быстрыми нейтронами, так и тепловыми нейтронами». Анализируя эти данные, Бор пришел к выводу, что процесс ядерной реакции, обусловленный захватом нейтрона, следует разделить на две не зависящие друг от друга стадии.

Первая стадия заключается в том, что захват нейтрона ядром приводит «к образованию составной системы, характеризующейся замечательной устойчивостью». Это «компунд-ядро» находится в возбужденном состоянии, причем энергия распределяется между всеми частицами ядра и в последующем (вторая стадия.– П.К.) может освобождаться в виде гамма-излучения либо «может опять концентрироваться на какой-то частице у поверхности ядра», так что эта частица может покинуть ядро.

Самым существенным моментом в теории Бора было представление о ядре как о сложной системе. Нейтрон взаимодействует не с какой-либо отдельной частицей ядра, а отдает энергию всему коллективу частиц, образующих ядро. Теория, «опирающаяся на соответствующее применение задачи одного тела... теряет всю свою ценность» в случае захвата нейтрона ядром, «где мы с самого начала имеем дело с существенно коллективными аспектами взаимодействия между составляющими ядро частицами».

О теории Бора рассказывал на сессии физико-математического отделения Академии наук СССР в марте 1936 г. И. Е. Тамм в докладе о проблеме атомного ядра. Я. И. Френкель, выступая по докладу, говорил: «В связи с теорией Бора ясно, что сложное ядро до некоторой степени подобно твердому или жидкому телу, состоящему из большого числа частиц, сильно связанных друг с другом. Отсюда возникает весьма естественно мысль, нельзя ли рассматривать ту энергию, которую нейтрон, приставший к ядру, сообщает всей совокупности частиц, образующих его как своего рода тепловую энергию. При этом состояние системы характеризуется некоторой температурой, соответствующей этой энергии и числу частиц. Нагретое ядро имеет некоторые шансы испариться, и это испарение является

той дезинтеграцией, которая воспринимается нами в виде вылетающего из ядра нейтрона или протона или альфа-частицы...».

Свои мысли Я. И. Френкель облек в статью, опубликованную в том же, 1936 г. под заглавием «О «твердой» модели тяжелых ядер». Бор согласился с этой идеей Я. И. Френкеля и в лекции «Превращение атомных ядер», прочитанной весной 1937 г. в США и в июне того же года в СССР, говорил о «температуре» ядра, которая «повышается» в результате захвата нейтрона, причем ядро «деформируется», совершая упругие колебания. Бор указывал, что испускание нейтрона ядром «представляет особенно удачную аналогию испарению жидкого или твердого тела при низких температурах», и отмечал, что «Я. И. Френкель впервые предложил применить к вероятности вылета нейтрона из составного ядра обычную формулу для испарения».

Однако ни Бор, ни Френкель не стали развивать идею о ядре как жидкой капле, они остановились на «твердой» модели. Как экспериментаторы, так и теоретики очень близко подходили к явлению деления, но, загипнотизированные всей совокупностью представлений о ядерных реакциях, не могли увидеть сути дела.

Упомянем еще об одном теоретическом результате 1938 г. Ганс Боте предложил теорию, объясняющую энергию звезд. Согласно этой теории энергия выделяется в результате синтеза ядер водорода в ядра гелия. Боте предложил углеродно-азотный цикл, приводящий в конечном счете к превращению водорода в гелий, сопровождающийся выделением значительной энергии.

В 1938 г. наступила развязка сложной ситуации, вызванной результатами, полученными ферми. Сложность ситуации объяснялась обилием радиоактивных изотопов, к тому же открытие изомерии Курчатовым еще более осложнило обстановку. Распутать цепочку продуктов, получающихся в результате бомбардировки урана нейтронами, было непросто. Ирен Кюри, работая сначала с Хальбаном, а потом с югославом Павлом Савичем, получила радиоактивное вещество с периодом полураспада 3,5 ч, напоминающее торий. Ган, проверяя этот результат, показал, что продукт, который Кюри и Савич потом стали называть R (3,5 ч), не может быть торием. Ирен Кюри и Савич согласились с выводом Гана и, продолжая исследования, показали, что R (3,5 ч) по свойствам напоминает актиний и еще больше лантан. Они констатировали, что продукт R (3,5 ч) выделяется вместе с лантаном: «В целом свойства R (3,5 ч) такие же, как свойства лантана». Но лантан не радиоактивен, и они полагали, что активный продукт можно отделить от лантана. Заметка об опытах И. Кюри и П. Савича была опубликована летом 1938 г.

Ган в то время работал вместе со Штрассманом, так как Л. Мейтнер эмигрировала после захвата Австрии Гитлером в Стокгольм. Прочитав статьи Кюри и Савич, Ган был поражен, он подумал, что Кюри и Савич совершенно запутались, и решил тщательно проверить их опыты. Ган рассуждал так: если R (3,5 ч) – аналог лантана, то его материнский продукт должен походить на радий, аналогичный барю. Наблюдаемый Ганом и Штрассманом мнимый радий, действительно, обладал всеми свойствами радия. 20 декабря 1938 г. в результате многих опытов по идентификации нового элемента они установили окончательно, что в числе продуктов бомбардировки, несомненно, имеется барий. «Как химики, – писали они в своем сообщении, – мы должны из этих кратко описанных опытов существенно изменить приведенную выше схему и вместо символов Ra, Ac, Th вставить символы Ba, La, Ce. Как «ядерные химики», тесно связанные с физикой, мы не можем решиться на этот шаг, противоречащий всем предыдущим экспериментам».

Статья Гана и Штрассмана была опубликована в январе 1939 г. под заглавием «О доказательстве возникновения щелочноземельных металлов при облучении урана нейтронами и их свойствах». Но еще до публикации статьи Ган прислал Мейтнер письмо с изложением своих результатов. К Мейтнер в это время на рождественские каникулы приехал ее племянник Отто Фриш, работавший у Бора. Мейтнер показала ему письмо Гана и на скептическое отношение фриша к содержанию письма сказала, что дело очень важное и необходимо объяснить получение бария из урана. Во время лыжной прогулки они решили

задачу: ядро делится на осколки, приобретающие под действием электростатического отталкивания энергию около 200 МэВ, что как раз составляло энергию, связанную с дефектом массы.

Вернувшись в Копенгаген, фриш сообщил об этой интерпретации открытия Гана и Штрассмана Бору, уезжавшему в Америку. «Я помню, как он хлопнул себя по лбу, едва я начал говорить, и воскликнул: «О какие мы были дураки! Мы должны были заметить это раньше».

Фриш провел соответствующий эксперимент с ионизационной камерой, «с помощью которой можно было без труда наблюдать большие импульсы, возникающие от ионизации, производимой осколками деления».

16 января фриш и Мейтнер опубликовали статью, в которой, в частности, был впервые употреблен термин «деление», подсказанный Фришу американским биологом Арнольдом.

26 января 1939 г. в Вашингтоне на конференции по теоретической физике Бор сообщил об открытии деления урана. Не дожидаясь конца доклада, физики один за другим стали покидать заседание, чтобы проверить сообщение в своих лабораториях. Изучение деления проводил ф. Жолио. 30 января 1939 г. он сообщил Парижской Академии наук об экспериментальном доказательстве расщепления ядер урана и тория под действием нейтронов. 20 февраля 1939 г. он продемонстрировал деление ядер урана (Жолио говорил о «взрыве») методом камеры Вильсона, получив фотографию деления. 8 марта того же года Жолио совместно с Хальбоном и Коварским опубликовал в «Nature» заметку, в которой сообщал об испускании нейтронов при ядерном взрыве урана. «Несомненно, – писали они, – что наблюдаемое явление представляет интерес с точки зрения осуществления экзоэнергетических цепных реакций». В напечатанной 7 февраля статье «Резонансные явления в расщеплении урана и тория» Бор указал, что эффект деления связан с захватом нейтрона ядром «редкого изотопа урана-235».

В апреле 1939 г. Я. И. Френкель выступил со статьей, в которой деление тяжелых ядер U, Th при захвате нейтрона объяснил как «следствие капиллярной неустойчивости жидкой капли, обладающей большим электрическим зарядом».

28 июля 1940 г. Н. Бор и Дж. Уиллер представили статью «Механизм деления ядер», в которой было дано «объяснение механизма деления ядра на основе модели ядра как жидкой капли». Модель жидкой капли, которая могла бы предсказать деление ядер, начала активно «работать» при объяснении механизма деления. Бор и Уиллер показали, что под действием медленных нейтронов делятся изотопы урана-235 и что нейтроны, наблюдаемые при делении, «не могут возникать в самом процессе деления». «Запаздывающее излучение нейтронов действительно является результатом ядерного возбуждения, которое сопровождается бета-распадом нейтронов».

Осуществление цепной реакции деления ядер

Теперь встал со всей силой вопрос о цепной реакции деления и о возможности получения разрушительной взрывной энергии деления. Этот вопрос роковым образом переплелся с мировой войной, развязанной фашистской Германией 1 сентября 1939 г. Напуганный возможностью получения гитлеровцами в свое распоряжение оружия огромной разрушительной силы, Эйнштейн подписал письмо президенту США Рузвельту, в котором предупреждал его об этой опасности и рекомендовал начать работу по атомной энергии.

История создания атомной бомбы в США неоднократно описывалась. Мы уже писали, что первый ядерный реактор был запущен 2 декабря 1942 г. в Чикаго под руководством Энрико Ферми. Атомная бомба была создана группой ученых из всех стран мира, работавших в Лос-Анджелесе под руководством Роберта Оппенгеймера. Испытание было проведено 16 июля 1945 г. в пустынной местности в Нью-Мексико.

В Советском Союзе работы над получением атомной энергии начались в разгар Великой Отечественной войны, «когда, – как писал И. В. Курчатов, – родная земля была

залита кровью, когда разрушались и горели наши города и села, когда не было никого, кто не испытывал бы чувства глубочайшей скорби из-за гибели близких и родных людей».

В этой тяжелой обстановке советские ученые совершили подвиг и «добились выдающихся успехов в деле создания атомного и водородного оружия». Руководителем и главным в этом подвиге был трижды Герой Социалистического Труда академик Игорь Васильевич Курчатов.

И. В. Курчатов. Курчатов родился 12 января 1903 г. в поселке Сим, на Южном Урале (Симский завод), в семье помощника лесничего В. А. Курчатова. К моменту поступления Игоря в гимназию семья переехала в Симбирск, где Игорь и начал гимназическую учебу. Однако вскоре из-за болезни старшей дочери Курчатовы переехали в Симферополь. В трудные годы империалистической и гражданской войн пришлось учиться Игорю. Крым захватывали немецкие оккупанты, войска Антанты, белогвардейцы всех мастей. Игорь Курчатов окончил гимназию весной 1920 г. и поступил в Таврический университет. В ноябре 1920 г. в Крыму установилась Советская власть.

Учиться было нелегко. Голод и разруха давали себя знать. Курчатов не гнушался никакой работы, чтобы поддержать существование. Он был чернорабочим, воспитателем детского дома, диспетчером автоколонны, сторожем кинотеатра.

В 1923 г. Курчатов досрочно окончил университет и решил продолжить образование в Петрограде в Политехническом институте. Здесь он поступил на 3-й курс кораблестроительного факультета. Материальное положение питерского студента было трудное, и Курчатов устроился на работу в магнитно-метеорологическую обсерваторию города Слуцка (Павловска). Здесь начался научный путь будущего ученого. Его статья «К вопросу о радиоактивности снега» была опубликована в 1924 г.

Учеба в Политехническом институте оборвалась в том же, 1924 г. По предложению старшего физика обсерватории Н. Н. Калинина Курчатов поехал с ним в экспедицию в Феодосию в Гидрометеорологический центр. Кроме выполнения обычных функций наблюдателя, И. В. Курчатов проводил и исследовательскую работу. Он опубликовал результаты исследований в статьях «Опыт применения гармонического анализа к исследованию приливов и отливов Черного моря» и «Сейши в Черном и Азовском морях».

Осенью 1924 г. Курчатов приехал в Баку, куда его пригласил на должность ассистента его учитель по Таврическому университету С. Н. Усатый. Здесь же работал и друг Курчатова по университету К. Д. Синельников, сестра которого, Марина Дмитриевна, позднее стала женой Игоря Васильевича.

В Баку И. В. Курчатов опубликовал работу по электролизу твердого тела. Он ощутил в себе призвание физика и решил поработать в большой физике. Центром современной физики в те годы был Ленинградский физико-технический институт, организованный А. ф. Иоффе. Туда уехал из Баку К. Д. Синельников, туда же поехал и Курчатов. 1 сентября 1925 г. он был зачислен сотрудником физико-технического института.

Одной из первых публикаций бакинских физиков в Ленинграде была статья И. В. Курчатова и К. Д. Синельникова «К вопросу о прохождении медленных электронов через металлические фольги».

Вскоре Курчатов вместе с Синельниковым и П. П. Кобеко углубился в изучение свойств диэлектриков. Интерес к свойствам изоляторов диктовался потребностями электротехнической промышленности, игравшей важную роль в реализации Ленинского плана ГОЭЛРО. Волховстрой, начатый еще при жизни В. И. Ленина, привлек к себе внимание всей страны. А. ф. Иоффе был увлечен идеей создания сверхпрочных тонкослойных изоляторов. В своем выступлении на V съезде русских физиков, состоявшемся в декабре 1926 г. в Москве, он показал вынутые им из кармана пластинки, способные выдержать электрические поля с напряженностью до $150 \cdot 10^6$ В/см. Этой идеей увлекся и Курчатов. Однако А. П. Александров доказал, что в измерения электрической прочности изоляторов, выполненных Курчатовым и его коллегами, вкралась ошибка, нарастающая с уменьшением толщины слоя. Идея тонкослойных изоляторов оказалась несостоятельной.

Неудача не обескуражила Курчатова. Он продолжал работать с диэлектриками, исследуя высоковольтную поляризацию в кристаллах сегнетовой соли. Тщательно изучая причины разногласий в изучении этого диэлектрика и источники возможных ошибок, И. В. Курчатов разработал новую методику подведения напряжения к кристаллу. В качестве подводящих электродов Курчатов и Кобеко использовали насыщенный раствор сегнетовой соли. Результаты оказались согласующимися между собой и необычными. При напряженности поля 200 В/см значение диэлектрической проницаемости кристалла оказалось равным 9300 при комнатной температуре. Так был открыт новый класс диэлектриков, названный И. В. Курчатовым сегнетоэлектриками. По своим электрическим свойствам сег-нетоэлектрики оказались полным аналогом ферромагнетиков. Цикл многолетних исследований этого явления завершился опубликованной в 1933 г. монографией «Сегнетоэлектрики».

И. В. Курчатов



И. В. Курчатов открыл большую и важную для науки и техники область физического исследования. С ним вместе работали его брат Борис Васильевич Курчатов и другие ученые.

Он мог бы до конца жизни работать в этой области. Но он решил иначе. 1932 год – «год чудес» – выдвинул на первое место физику ядра. В Физико-техническом институте в ноябре 1932 г. был создан ядерный семинар. Его организаторами были А. И. Алиханов, Д. Д. Иваненко, И. В. Курчатов, Д. В. Скобельцын. С этого времени интересы И. В. Курчатова

сосредоточились на ядерной физике. Он был активным участником семинара, председателем

Оргкомитета Первой Всесоюзной конференции по атомному ядру, состоявшейся в Ленинграде 24–30 сентября 1933 г. Об этой конференции неоднократно приходилось упоминать.

Следует отметить, что в 1932 г. положение ядерной физики в СССР было незавидным. Правда, еще до революции в России начались работы по радиоактивности, по преимуществу в связи с геофизикой и геохимией. Особенно важное значение имели исследования

Владимира Ивановича Вернадского (1863–1945), который начиная с 1910 г. исследовал в России месторождения радия и урана, проводил первые радиохимические исследования радия и урана, применил радиоактивный метод к исследованию возраста земных пород. В. И. Вернадский горячо верил в будущее атомной энергии и еще в 1922 г. предупреждал ученых

об ответственности в связи с этим открытием. Он писал: «Мы подходим к важному перевороту в жизни человечества, с которым не может сравниться все им раньше пережитое.

Недалеко то время, когда человек получит в свои руки атомную энергию, такой источник силы, который даст ему возможность строить свою жизнь, как он захочет.. Ученые не должны закрывать глаза на возможные последствия их научной работы, научного прогресса.

Они должны себя чувствовать ответственными за последствия их открытий. Они должны связать свою работу с мировой организацией всего человечества». В том же, 1922 г. В. И. Вернадский организовал в Петрограде Радиевый институт, директором которого он был до 1939 г. В этом институте работал и крупный советский радиохимик академик Виталий Григорьевич Хлопин (1890-1950), организовавший в 1918–1921 гг. первый русский радиевый завод.

Из физиков следует упомянуть сподвижника Столетова профессора Московского университета А. П. Соколова (1854–1928), создавшего в Московском университете практикум по радиоактивности. При организации этого практикума А. П. Соколов ездил в Париж к М. Кюри, а его ученик К. П. Яковлев – в Манчестер к Резерфорду. В 1912–1913 гг. в Московском университете начал работать специальный практикум по радиоактивности.

А. П. Соколов организовал радиоактивную лабораторию, имевшую два отделения – физическое и химическое. Сам А. П. Соколов проводил исследования радиоактивности воздуха, минеральных вод, лечебных грязей, источников и почв.

Таким образом, Советская Россия располагала известными кадрами для работы в области радиоактивности. Были установлены контакты с такими научными центрами, как Институт радия в Париже, Кавендишская лаборатория в Кембридже. Были проведены еще до революции обширные радиологические исследования, в том числе и исследования залегания радиоактивных руд. После революции радиологические исследования развернулись в рентгенорадиологическом отделении Рентгеновского физико-технического института, пока в 1921 г. не был организован Радиевый институт.

Большую известность получили исследования Л. В. Мысовского по космическим лучам. Л. В. Мысовский и П. И. Чижов разработали метод толстослойных пластин для исследования α -частиц (1926). Л. В. Мысовский был одним из пионеров ядерной физики СССР.

Мы упоминали также и Д. В. Скобельцына, который применил метод камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле, для анализа электронов отдачи при эффекте Комптона (1927). Обнаружив следы электронов большой энергии, не отклоняемых полем, Скобельцын приписал их космическим γ -лучам и в 1929 г. получил первую фотографию ливней космических частиц, на которой был зафиксирован и позитрон. Однако магнитное поле, применявшееся Скобельцыным, было слишком слабым, чтобы можно было достоверно идентифицировать частицу. На Первой Всесоюзной конференции по атомному ядру Д. В. Скобельцын рассказал о своих работах по исследованию космических лучей методом камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле.

Но в целом ядерная физика в СССР до 1932 г. находилась в зачаточном состоянии. Приход И. В. Курчатова в ядерную физику стимулировал оживление работы этой отрасли физики. Начали строиться высоковольтные ускорители заряженных частиц.

Такие ускорители были построены в Украинском физико-техническом институте в Харькове А. К. Вальтером и К. Д. Синельниковым. На этих ускорителях были осуществлены первые реакции по расщеплению ядер. И. В. Курчатов руководил созданием ускорителя в Ленинградском физико-техническом институте, но также поддерживал тесную связь с харьковской группой. В своей последней статье, опубликованной в «Правде» незадолго до смерти, Курчатов писал: «В начале тридцатых годов мне довелось быть у истоков зарождавшейся атомной физики на Украине. В то время я часто приезжал в молодой физико-технический институт, созданный в Харькове по решению правительства в октябре 1928 г., и работал в нем со своими старыми друзьями К. Д. Синельниковым, А. К. Вальтером и А. И. Лейпунским, вместе с которыми начинал свою научную деятельность в Ленинграде...

В Харькове с К. Д. Синельниковым мы работали над созданием новых высоковольтных установок, ускоряющих заряженные частицы, для исследования атомного ядра. С А. К. Вальтером мы разрабатывали импульсные и электростатические ускорители для исследования атомных ядер... С А. И. Лейпунским были проведены исследования атомных ядер при помощи нейтронов, незадолго до этого открытых англичанином

Чедвиком».

И. В. Курчатов работает не только в ЛФТИ и УФТИ, он ведет педагогическую и научную работу по ядерной физике в Ленинградском педагогическом институте им. М. И. Покровского, где он был профессором. Он как будто хочет зажечь огонь ядерной физики в разных точках страны.

В 1935 г. было сделано фундаментальное открытие в физике ядер. Облучая нейтронами два изотопа брома Вг74 и Вг81, И. В. Курчатов, Б. В. Курчатов, Л. П. Русинов и Л. В. Мысовский получили не два радиоактивных продукта, как ожидалось, а три с периодами 18 мин, 4,4 и 34 ч. Так было открыто существование у брома двух изомерных ядер.

Открытие ядерной изомерии привлекло внимание зарубежных исследователей. Молодая советская ядерная физика внесла существенный вклад в эту бурно развивающуюся отрасль знания.

В 1935 г. вышла книга И. В. Курчатова «Расщепление атомного ядра», где он в доступной форме дал обзор опытов по расщеплению ядер.

20-26 сентября 1937 г. в Москве состоялась Вторая Всесоюзная конференция по атомному ядру. За четыре года, прошедшие со времени первой конференции, было сделано очень много.

Открытие искусственной радиоактивности и ядерных превращений под действием нейтронов необычайно стимулировало развитие ядерных исследований. На конференции присутствовали В. Паули, известный французский исследователь космических лучей Оже, английские ученые Вильяме и Пайтерлс.

К. Д. Синельников доложил о построенном в Харькове ускорителе Ван-де-Граафа. Диаметр шаров ускорителя составлял 10 м, длина ускорительной трубки была 15 м, давление газа в ней достигало $4 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. Энергия протонов, сообщенная ускорителем, достигала 2,5 МэВ.

В. П. Рукавишников рассказал о создании в Радиевом институте циклотрона. Работа над созданием циклотрона была очень нелегкой. В 1937 г. был получен первый пучок ускоренных протонов, но работа по наладке ускорителя продолжалась и в 1938 и в 1939 гг.

И. В. Курчатов отдал созданию циклотрона много времени и сил. Он хорошо понимал необходимость создания в СССР технической базы ядерной физики и уделял этому делу огромное внимание.

На конференции И. В. Курчатов рассказал об опытах по поглощению медленных нейтронов и найденном им и его сотрудниками селективном резонансном поглощении нейтронов.

За второй конференцией последовали совещания по атомному ядру. Они проводились в 1938, 1939 и 1940 гг. И. В. Курчатов был непременным организатором и участником совещаний. Ведущей темой совещаний 1939–1940 гг. было деление ядра. На совещании 1939 г. с докладом на эту тему выступили сотрудники И. В. Курчатова. Обзорный доклад «Деление урана» сделал А. И. Лейпунский. В докладе он подчеркнул возможность осуществления цепной реакции. «Медленный нейтрон, – говорил Лейпунский, – захватывается ядром урана, ядро делится с испусканием огромного количества энергии, при этом испускаются нейтроны, которые замедляются в водород-содержащей среде; став медленными, они опять поглощаются ядрами урана, вызывая их деление с испусканием нейтронов, и т. д. ...Ясно, что если такой процесс может быть осуществлен, становится возможным практическое использование деления урана».

Н. А. Перфилов из Радиевского института доложил о наблюдении треков ядер отдачи при ядерном распаде. Ученик И. В. Курчатова К. А. Петржак выступил с докладом на тему «Пробеги и энергии осколков при делении урана быстрыми нейтронами». Для наблюдения процесса деления урана в этой работе применялась ионизационная камера, соединенная с линейным ускорителем. Наблюдались в основном два типа осколков с энергиями 60 и 85 МэВ.

В. Г. Хлопин сделал доклад о химической природе продуктов деления урана. Сотрудники И. В. Курчатова Л. И. Русинов и Г. Н. Флеров рассказали об опытах по делению урана.

Курчатов выступил с докладом о результатах опытов, в которых нейтроны, получаемые на циклотроне Радиевского института, бомбардировали ядра гадолиния. Открытая И. В. Курчатовым ядерная изомерия показала «наличие метастабильных состояний атомного ядра». При этом ядро, возбужденное до метастабильного уровня, «чаще всего переходит в основное состояние, излучая электроны внутренней конверсии». Опыты с гадолинием, как указывал Курчатов, «дают основание думать, что сильно поглощающий медленные нейтроны гадолиний, который не дает при этом искусственной радиоактивности, обладает метастабильным уровнем с энергией порядка кеV».

На совещании по физике атомного ядра, состоявшемся в Москве 20–26 ноября 1940 г., ученик И. В. Курчатова Г. Н. Флеров сделал доклад об открытом им и К. А. Петржаком самопроизвольном делении урана. Об этом фундаментальном открытии советской ядерной физики говорил в своем докладе и И. В. Курчатов.

И. В. Курчатов обсуждал конкретные пути осуществления цепной реакции. Он ссылаясь на теоретические расчеты Я. Г. Зельдовича и Ю. Б. Хари-тона и указывал, что наиболее надежный путь заключается в обогащении урановой смеси легкими изотопами урана-235. Здесь трудность состояла в проблеме разделения изотопов, которая, как полагал И. В. Курчатов, ввиду ее важности будет решена. И. В. Курчатов не испугался трудностей, стоящих на пути овладения внутриядерной энергией, он энергично взялся за решение задачи.

Его окружали молодые энтузиасты, разделявшие веру своего руководителя. К. Л. И. Русинову, Г. Н. Флерову, К. А. Петржаку присоединился И. С. Панасюк, начавший работать в лаборатории И. В. Курчатова, будучи еще студентом Политехнического института.

Курчатов работал также и над созданием нового мощного циклотрона с диаметром полюсов электромагнита 1,2 м. Новый циклотрон должен был вступить в строй 1 января 1942 г.

Но планы И. В. Курчатова сорвала война. Сам Курчатов, Флеров, Петржак и Панасюк – все были призваны в армию. И. В. Курчатов работал над проблемой противоминной защиты кораблей Советского Военно-Морского флота. Ему пришлось работать в боевых условиях Черноморского флота в героическом Севастополе. В ноябре 1941 г. группа Курчатова перебазировалась на Кавказское побережье, с большим риском прорвавшись из блокированного Севастополя. В декабре 1941 г. И. В. Курчатов был откомандирован в Казань, где размещался физико-технический институт, работавший над военными заданиями. Поздней осенью 1942 г. Курчатова вызвали в Москву. Туда же вызвали и А. И. Алиханова. Было решено начать работы по атомной энергии. В декабре Курчатов вернулся в Казань, полный мыслей о предстоящем большом деле. В начале января 1943 г. его вновь вызвали в Москву. Народный комиссариат Военно-Морского флота добился разрешения на командировку Курчатова в Мурманск. Это была его последняя работа для флота, на этот раз северного.

5 марта 1943 г. он вернулся в Москву, где энергично взялся за организацию работы над разрешением атомной проблемы. Работа была громадная, надо было собрать людей, установить необходимые контакты с промышленностью, наметить первоочередные задачи и т. д. Выдающийся организаторский талант И. В. Курчатова помог ему справиться с колоссальной задачей при всесторонней поддержке партии и правительства.

25 декабря 1946 г. на территории Института атомной энергии, ныне носящего имя своего основателя, впервые на континенте Европы и Азии была осуществлена цепная реакция деления урана. То, к чему стремился И. В. Курчатов еще до войны, было осуществлено. В августе 1949 г. под руководством И. В. Курчатова было произведено испытание советской атомной бомбы. Через четыре года, 8 августа 1953 г., ТАСС сообщило о создании в СССР водородной бомбы 12 августа 1953 г. водородная бомба была испытана.

Обеспечив безопасность Родины созданием атомного и водородного оружия, И. В.

Курчатов стал напряженно трудиться над применением атомной энергии в мирных целях. Под его руководством разрабатывался проект первой в мире атомной электростанции в Обнинске, начавшей свою работу 27 июня 1954 г.

В июле 1955 г. в Москве состоялась сессия Академии наук СССР. На ней было рассказано о работах, ведущихся по ядерной физике в Советском Союзе. В августе того же года в Женеве проходила Первая Международная конференция по мирному использованию атомной энергии. С докладом о первой в мире атомной электростанции выступил один из ее создателей, член-корреспондент Академии наук СССР Дмитрий Иванович Блохинцев.

В апреле 1956 г. в Англию в составе правительственной делегации поехал И. В. Курчатов. Он был в атомном центре в Херуэлле, где его встретил директор атомного центра Нобелевский лауреат Джон Кокрофт. И. В. Курчатов выступил в Херуэлле с лекцией, в которой рассказал о работах по управляемым термоядерным реакциям, ведущимся в СССР.

Эта проблема глубоко интересовала Игоря Васильевича. По возвращении из Англии он выступил 10 мая 1956 г. в «Правде» со статьей, в которой говорил о важности задачи управления термоядерным синтезом. «Решение этой задачи, – писал Курчатов, – навсегда сняло бы с человечества заботу о запасах энергии, необходимой для существования на Земле». Этой проблеме посвятил И. В. Курчатов свои силы и энергию в последние годы жизни.

Напряженный труд надломил здоровье Игоря Васильевича. В ноябре 1957 г. он перенес инсульт. Но после тяжелой болезни не прекращал своего труда.

В январе 1960 г. он побывал у своих старых друзей: К. Д. Синельникова, А. К. Вальтера, А. И. Лейпунского – в Харькове. О своих впечатлениях о работе украинских атомщиков он написал статью, опубликованную в «Правде». Это была последняя публикация ученого. 7 февраля 1960 г. он скоропостижно скончался.

«Я счастлив, – говорил И. В. Курчатов на сессии Верховного Совета СССР 15 января 1960 г., – что родился в России и посвятил свою жизнь атомной науке великой Страны Советов...

Я глубоко верю и твердо знаю, что наш народ, наше правительство только благу человечества отдадут достижения этой науки».

Эти слова прекрасно характеризуют основоположника советской атомной науки и техники, горячего патриота своей Родины Игоря Васильевича Курчатова.

Заключение

Вторая мировая война принесла человечеству неисчислимы бедствия. Десятки миллионов жизней, тысячи разрушенных городов и сел, сотни миллионов искалеченных людей, вдов и сирот – таков итог этой разрушительной войны.

Но за ней встал грозный призрак новой, еще более чудовищной и ужасной атомной войны. Сотни тысяч людей, погибших при атомной бомбардировке Хиросимы и Нагасаки, показали миру, что несет людям атомная война. Перед прогрессивными людьми мира встала задача борьбы с войной, борьбы за мир. И лучшие люди атомной науки включились в эту борьбу. Таким борцом за мир был создатель первого французского атомного реактора Фредерик Жолио-Кюри, таким горячим сторонником мира был и И. В. Курчатов, гражданин Страны Советов, стоящей в авангарде борьбы за мир.

Вторая мировая война родила ракеты, радиолокаторы, атомную бомбу. Достижения военной науки и техники определили основные направления научно-технического прогресса, приведшего к подлинной научно-технической революции. Однако корни этих основных достижений лежали глубоко в довоенной науке и технике.

Еще до революции гениальный самоучка, калужский учитель К. Э. Циолковский начал интенсивно работать над проблемами космонавтики.

В 1883 г. он разработал принцип полета в свободное пространство с помощью реакции газовой струи, вылетающей из отверстия. В 1897 г. К. Э. Циолковский вывел знаменитую формулу, определяющую скорость полета ракеты по отношению полной массы к массе выгоревшего топлива. Опубликованная в 1903 г. работа Циолковского «Исследование мировых пространств реактивными приборами» содержала первую теорию космического полета с помощью ракет. Циолковский первым в мире разработал проект жидкостного реактивного двигателя.

В 1926 г. К. Э. Циолковский выдвинул идею двухступенчатой ракеты, а в 1929 г. в брошюре «Космические ракетные поезда» разработал проект многоступенчатых ракет. К. Э. Циолковский подробно обосновал теорию космических межпланетных полетов. Он разрабатывал проекты обитаемых спутников и межпланетных станций, всесторонне обсуждая проблемы жизнеобеспечения в длительных космических полетах. К. Э. Циолковский стал зачинателем космической эры.

Его идеи вдохновляли изобретателей, ученых и инженеров, разрабатывавших конструкции ракет в довоенные и военные годы.

Широкое применение ракет в военные годы подготовило почву для бурного развития ракетной техники после войны. Космическую эру открыл Советский Союз. Под руководством Главного конструктора, дважды Героя Социалистического Труда академика Сергея Павловича Королева (1906–1966) 4 октября 1958 г. в Советском Союзе был запущен первый искусственный спутник Земли, а 12 апреля 1961 г. советский гражданин Юрий Алексеевич Гагарин на корабле «Восток» совершил первый в мире космический полет. Началась эпоха освоения космоса, человек вышел за пределы Земли.

Атомная энергия и космические полеты были бы невозможны без первоклассной электроники и автоматики. Противовоздушная оборона потребовала новых методов локаций скоростных самолетов и новых методов управления зенитным огнем. Так родилась радиолокация, в которой впервые были применены счетно-решающие устройства.

Один из основоположников кибернетики – Норберт Винер (1894–1964), рассказывая в своей книге «Кибернетика» историю возникновения новой науки, писал: «Уже до войны стало ясно, что возрастающая скорость самолетов опрокинула классические методы управления огнем и что необходимо встроить в методы управления огнем вычислительные устройства, обеспечивающие расчеты для выстрела. Эти вычислительные устройства оказались очень сложными вследствие того обстоятельства, что, в отличие от других целей, самолет имеет скорость, сравнимую со скоростью зенитного снаряда».

В этих условиях оказалось невозможным игнорировать поведение людей как управляющих зенитным огнем, так и управляющих самолетом. «Люди... действуют в качестве неотъемлемой части системы управления огнем», – писал Винер. «Чтобы математически описать их участие в работе управляемой ими машины, необходимо знать их характеристики. Кроме того, их цель – самолет – также управляется человеком, и желательно знать рабочие характеристики такой цели».

Винер и его сотрудники пришли к заключению, что очень важным фактором в сознательной деятельности служит явление, которое в технике получило название обратная связь.

По принципу обратной связи работали маятниковые часы Гюйгенса и все последующие типы часов с маятником. По принципу обратной связи работал центробежный регулятор Уатта и все последующие регуляторы числа оборотов тепловых машин. По принципу обратной связи работал катодный генератор незатухающих колебаний Мей-снера и все последующие типы электронных генераторов колебаний. Теперь этот принцип открыли и в поведении человека. Так родилась новая эра автоматики – вместе с автоматизацией производства автоматизируется и управление. Наступила эпоха развития автоматики.

Автоматика – древнейшая отрасль техники. Когда первобытный человек вырывал яму на пути зверя и замаскировывал ее ветками, он создавал первое программирующее устройство. Автоматы Герона Александрийского показывали, какой изощренной могла быть

автоматическая техника в эпоху рабовладельческого общества и низкого уровня естественнонаучных знаний. Эта техника работала и в средние века, обслуживая властителей и церковь. Автоматика стала служить человеку не в качестве чудесной игрушки, а для насущной потребности точного измерения времени в эпоху создания маятниковых часов. Эти часы нужны были мореплавателям и астрономам, они нужны были все большему и большему кругу лиц, вовлеченных в ритм общественной жизни.

Часы были созданы на основе достижения нового естествознания: математики и механики. Но, как и у Герона, они стали основой автоматических игрушек, получивших широкое распространение в XVIII в. Создавались игрушки, имитирующие поведение живых существ. Новая механика рассматривала живое существо как машину, работающую на принципах механики. Многие мастера работали над идеей создания автомата-человека и вечного двигателя. Этим идеям не суждено было осуществиться. Но они родились и питались научно-технической революцией XVIII в., положившей начало капиталистической индустриализации.

Ко второй половине XX в. на основе успехов математики, физики, электроники возникла новая автоматика и подобно человекообразным машинам XVIII в. появились человекообразные роботы, заполнившие страницы фантастической литературы. Вновь возникла проблема искусственного создания мыслящей машины-робота.

По всей вероятности, эту идею ждет участь, аналогичная ее предшественнице в XVIII в. Поток изобретений вечно-ного двигателя породил принцип невозможности вечно двигателя первого рода.

Сегодня обстановка сложнее. Кибернетические машины выполняют полезную работу. Автоматические межпланетные станции, автоматизация процессов в недоступных для человека условиях – все это стало возможным на основе «умных машин», решающих все более и более сложные задачи. Однако за каждой такой машиной стоит человек, ее создатель, ее программист. Век «бесчеловечной» автоматике, к счастью для людей, только вымысел фантастов и чрезмерно увлеченных ученых. Новая автоматика решает другие, более важные задачи. Современная автоматика призвана служить людям прежде всего в сфере создания материальных ценностей, в сфере планирования и управления, во всей системе народного хозяйства. Об этом говорят Директивы XXIV-XXVI съездов КПСС.

Таким образом, развитие математики, физики, электроники привело к широкому развитию автоматике, являющейся одним из основных компонентов научно-технической революции второй половины XX в. Ход этой революции показывает, что наука становится могучей производительной силой общества.

Развитие электроники, возникновение ядерной энергетики, создание новых материалов со специфическими свойствами, искусственных тканей и заменителей кожи, широкое внедрение химии, достижения биологической науки, применение математических методов в экономике – все это показывает значение науки как производительной силы. Сегодня наука – важнейший элемент технического прогресса, она указывает пути развития техники, открывает новые области технических применений. Поучительна в этом отношении история возникновения квантовой электроники. В(этой истории тесно переплелись научные идеи и технические достижения.

В 1916 г. Эйнштейн ввел идею индуцированного излучения. В 1920 г. О. Штерн ввел в экспериментальную физику метод молекулярных пучков.

В годы второй мировой войны получила широкое развитие в связи с проблемами радиолокации техника сверхвысоких радиочастот. Объединение научных идей с широким использованием волн сверхвысокочастотного диапазона и привело к созданию квантовой электроники. Н. Г. Басов и А. М. Прохоров разработали молекулярный генератор высокоустойчивых электромагнитных колебаний, ставший точными часами. В 1951 г. был создан усилитель высокой частоты, основанный на принципе индуцированного излучения, названный в американской литературе мазер.

Позже был создан квантовый генератор и усилитель в оптическом диапазоне (лазер).

Основатели квантовой электроники Николай Геннадьевич Басов, Александр Михайлович Прохоров (СССР), Чарлз Таунс (США) были удостоены в 1964 г. Нобелевской премии. Открытие квантовых генераторов и усилителей внесло в технику совершенно новые идеи, применимые в самых различных областях. Лазеры дали технике сверхточные часы, ошибка в ходе которых составляет всего 1 мин за 300 000 лет хода. Они дали усилители, в сотни раз превышающие чувствительность самых чувствительных радиоусилителей. Лазерный луч просверливает отверстия в таких твердых телах, как алмаз, делает тонкие хирургические операции. С помощью лазеров ведутся исследования по осуществлению управляемого термоядерного синтеза – одной из фундаментальнейших проблем физики XX в.

С помощью лазеров осуществляется сверхдальняя космическая связь. Она позволяет с огромной точностью измерять расстояния. Лазеры получили широкое применение в фотографии. Благодаря им осуществлена совершенно новая объемная фотография – голография.

«Свет лазера, – говорил один из изобретателей лазера Ч Таунс, – прошедший через голографический снимок, дает реальное трехмерное изображение с избытком деталей и замечательной глубиной фокуса».

Так научные задачи – изучение молекулярных пучков электромагнитными волнами сверхвысоких частот – привели в своем развитии поистине к революционным техническим приложениям. Наука указала технике новые пути и открыла новые технические возможности.

Но не только расширение технических возможностей характеризует науку нашего времени. Она существенно влияет на духовную сферу человека – по-новому формирует мышление и мировоззрение людей. Проникновение в глубь материи, открытие новых элементарных частиц и античастиц, открытие квазаров и пульсаров, новое понимание пространства, времени, причинно-следственных связей – все это расширило наше понимание мира, в необычайной степени обогатило наш язык, наше мышление. Наука оказывает неоспоримое влияние на литературу и искусство, обогащая их новыми темами, новым содержанием.

Но за всеми этими поразительными достижениями науки скрывается и глубокий тревожный вопрос: куда идет наука? Что несет она людям в будущем? Вопрос далеко не праздный, физика, химия, биология создали средства разрушения и уничтожения огромной мощи, достаточной, чтобы уничтожить все живое на Земле. Вопросы мира и социального прогресса стали насущными вопросами современности.

Наука прошла большой и сложный путь развития от египетских и вавилонских памятников до атомных электростанций, лазеров и космических полетов. Она знала мрачные времена упадка и застоя, сменявшиеся подъемом и быстрым развитием. Ее непрерывное развитие по восходящей линии началось сравнительно недавно, с Коперника и Галилея. И на этом коротком отрезке пути смелые надежды не раз сменялись разочарованиями и сомнениями. Но разум неизменно побеждал и вел вперед. Сейчас, в период острой борьбы за светлое будущее человечества, за мир и социализм, прогрессивные силы общества уверенно смотрят в будущее, твердо верят в победу разума и света над одичанием и тьмой.

Материал истории физики огромен, но будущему учителю знание его необходимо. На лекциях весь этот материал изложить невозможно, поэтому студентам придется прибегать к самостоятельной работе.

Для истории физики менее всего подходит метод заучивания. Здесь важно составить общую картину развития физической науки, добиться понимания отличия основных этапов этого развития друг от друга, выделить основных ученых, наиболее полно выразивших идеи и достижения своего времени. Поэтому в процессе самостоятельной работы полезно прочитать сначала соответствующую главу целиком. Затем приступить к составлению сжатого конспекта, отнюдь не переписывая текста учебника, а ограничившись перечислением основных фактов и имен. Например, в главе о науке древности достаточно ограничиться именами Фалеса, Пифагора, Демокрита, Аристотеля, Эпикура, Евклида,

Архимеда, Лукреция, Птолемея. Полезно сверяться со школьным учебником физики. На те имена и факты, которые встречаются в нем, следует обратить особое внимание.

Обязательно намечайте хронологические рамки каждого этапа, постарайтесь представить физическую науку во времени. Ознакомьтесь со списком дополнительной литературы, обратив особое внимание на труды классиков науки. Очень полезно в конце каждого периода привести труды ученых этого времени, изданные в русских переводах.

Учитесь грамотно оформлять библиографию: приведите точно написание имени автора, название труда, фамилию переводчика и редактора (в списке литературы эти данные не всегда указаны, постарайтесь их восполнить сами), далее приведите место издания и, наконец, год издания. Так вы овладеете одним из важных навыков научной работы – работы с литературой.

Литература

1 Классики марксизма-ленинизма

Маркс К. К критике политической экономии.–Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 13.

Энгельс Ф. Анти-Дюринг. – Маркс К, Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 20.

Энгельс ф. Диалектика природы. -Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 20.

Энгельс ф. Людвиг Фейербах и конец немецкой классической философии. – Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 21.

Энгельс ф. Письмо Борсиусу.-Маркс К., Энгельс ф. Соч., 2-е изд., т. 39.

Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. – Поли. собр. соч., т. 18.

Ленин В. И. философские тетради. -Поли. собр. соч., т. 29.

Ленин В. И. О значении воинствующего материализма. – Поли. собр. соч., т. 45.

2. Общие сочинения по истории и методологии физики

Андерсон Д. Открытие электрона. – М.: Атомиздат, 1968.

Биографический словарь деятелей естествознания и техники.– М.: БСЭ, 1959.

Брегг В. Г. История электромагнетизма.–М – Л.: Гостехиздат, 1947.

Вилейтнер Г История математики от Декарта до середины XIX столетия. – М.: физматгиз, 1960.

Гернек ф. Пионеры атомного века. – М.: Прогресс, 1974.

ГельферЯ. М. История и методоло-

гия термодинамики и статистической физики. -М.: Высшая школа, 1969. -Т. I; 1973. -Т.

II.

Глесстон С. Атом. Атомное ядро Атомная энергия. –М.: ГИИЛ, 1961.

Григорьян А. Т. Механика от античности до наших дней. – М.: Наука, 1971.

ДжикияД. К Из истории физики в Советской Грузии. – Тбилиси: Изд-во Тбил. ун-та, 1972.

Дорфман Я. Г. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII века.-М.: Наука, 1974.

Дуков В. М. Электрон. – М.: Просвещение, 1966.

Иоффе А. ф. Встречи с физиками. – М.: физматгиз, 1960.

История естествознания в России.– М.: Изд-во АН СССР, 1957. -Т. I, ч. 1,2; 1960. -Т. II.

История и методология естественных наук, физика. – М.: Изд-во МГУ, 1960, вып. I; 1963, вып. II; 1965, вып. III; 1968, вып. VI; 1971, вып. X; 1972, вып. XII

История философии.– М: Изд-во АН СССР, 1957.-Т. I, II; 1959.-Т. III, IV

Клаин Б. В поисках. – М: Атомиздат, 1971.

Коненков А ф. История физики в Московском университете.– М: Изд-во МГУ, 1955.

Кравец Т. П. От Ньютона до Вавилова. - Л. Наука, 1967.

- Кузнецов Б. Г. Развитие научной картины мира в физике XVII–XVIII вв.-М.: Изд-во АН СССР, 1955, ч. I.
- Кудрявцев П. С. История физики.-М: Учпедгиз, 1956.-Т. I; 1956.-Т. II; 1971.-Т. III
- Кудрявцев П. С, Конфедерате в И. Я. История физики и техники. – М: Просвещение, 1965.
- Лазарев П. П. Очерки истории русской науки. - М.- Л.: Изд-во АН СССР, 1950.
- Лауэ М История физики. – М.: ГИТТЛ, 1956.
- Липсон Г. Великие эксперименты в физике.– М.: Мир, 1972.
- Лоуренс У. Л Люди и атомы. – М.: Атомиздат, 1966.
- Льоцци Мари о. История физики.-М: Мир, 1970.
- Лэпп Р. Атомы и люди. – М: ИИ Л, 1959.
- Люди русской науки. Очерки о выдающихся деятелях естествознания и техники: Математика. Механика. Астрономия, физика. Химия. – М.: физматгиз, 1961.
- Нейгебауэр О. Точные науки в древности.– М.: Наука, 1968.
- Основатели советской физики. – М: Просвещение, 1970.
- Очерки развития основных физических идей/Под ред. А Т. Григорьяна и Л С. По-лака.-М: Изд-во АН СССР, 1959.
- Развитие современной физики.– М: Наука, 1964.
- Развитие физики в России. Очерки/Под ред. А С. Предводителева и Б. И Спасского.-М.: Просвещение, 1970. -Т. I, II
- Развитие физики в СССР. Советская наука и техника за 50 лет. – М: Наука, 1967.
- Свечников Г. А Причинность и связь состояний в физике.– М: Наука, 1971.
- Спасский Б. И История физики. – М.: Высшая школа, 1977.-Т. I, II.
- Строик Д. Я. Краткий очерк истории математики. – М.: Наука, 1969.
- Творцы физической оптики. – М: Наука, 1973.
- Томсон Д. Дух науки.– М.: Знание, 1970.
- Тригг Д ж. Решающие эксперименты в современной физике. – М.: Мир, 1974.
- Уилсон Митчел. Американские ученые и изобретатели.– М.: Знание, 1964.
- Физика на рубеже XVII–XVIII веков. – М: Наука, 1974.
- Фигуровский ИЛ Открытие химических элементов и происхождение их названий.– М.: Наука, 1970.
- Фигуровский И. А Очерк общей истории химии.– М.: Наука, 1969.
- Философские вопросы современной физики.-М.: Изд-во АН СССР, 1955.
- Философские вопросы квантовой физики. - М.: Наука, 1970.
- Философские проблемы физики элементарных частиц.–М.: Изд-во АН СССР, 1963.
- Франкфурту. И. Очерки по истории специальной теории относительности. – М.: Изд-во АН СССР, 1961.
- Франкфурту. И, френкА М физика наших дней.– М: Наука, 1971.
- Франкфурту. И., френкАМ Оптика движущихся тел. – М: Наука, 1972.
- Шпольский Э. В. Очерки истории развития советской физики. – М: Наука, 1967.
- Юз Д. История нейтрона.–М: Атомиздат, 1964.

3. Труды деятелей физической науки

- Ампер. Электродинамика. Серия «Классики науки».– М.: Изд-во АН СССР, 1954.
- Аристотель. Аналитики первая и вторая.–Я: Госполитиздат, 1952
- Аркадьев В. К. Избранные труды. – М.: Изд-во АН СССР, 1961.
- Архимед. Сочинения.–М: физматгиз, 1962.
- Бернулли Д Гидродинамика. Серия «Классики науки». –Л: Изд-во АН СССР, 1959.
- Бируни. Минералогия. Серия «Классики науки».-М: Изд-во АН СССР, 1963.
- Богуславский С. А Избранные труды по физике.– М.: физматгиз, 1961.
- Бор Н. Избранные научные труды. Серия «Классики науки». –М.: Наука, 1970.-Т. I;

1971.-Т. II

- Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. – М.: ГИИЛ, 1961.
- Борн М Атомная физика. – М: Мир, 1970.
- Борн М. физика в жизни моего поколения. - М.: ГИИЛ, 1963.
- Борн М., Вольф Э. Основы оптики.-М.: Наука, 1970.
- Бройль Луи де. По тропам науки. – М.: ГИИЛ, 1962.
- Бройль Луи де. Революция в физике. – М. Госатомиздат, 1963.
- Бруно Джордан о. Диалоги. – М.: Госполитиздат, 1949.
- Бугер П. Оптический трактат о градации света. Серия «Классики науки». –М: Изд-во АН СССР, 1950.
- Вавилов С. И. Собрание сочинений. - М.: Изд-во АН СССР, 1952-1956.
- Вульф Ю. В. Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. – М.-Л.: ГИТТЛ, 1952.
- Галилей Галилео. Избранные труды в двух томах. Серия «Классики науки». –М.: Наука, 1964.
- Гаусс К. ф. Избранные труды по земному магнетизму. Серия «Классики науки». – М.: Изд-во АН СССР, 1952.
- Гейзенберг В. Теория атомного ядра.-М.: ГИИЛ, 1953.
- Гельмгольц Г. Публичные лекции, читаемые в Императорском московском университете.– М.: 1962.
- Гельмгольц Г. О сохранении си-лы.-М.-Л.: ГТТИ, 1934.
- Глаголев а-А ркадьева А. А. Собрание трудов.– М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1948.
- Гиббс Д. В. Основные принципы статистической механики. – М –Л.. Гостех-издат, 1946.
- Гиббс Д. Термодинамические работы.-М.-Л.: ГТТИ, 1950.
- Гильберт Вильям. О магните. Серия «Классики науки». –М.: Изд-во АН СССР, 1956.
- Гюйгенс Христиан. Три мемуара по механике. Серия «Классики науки». – М.: Изд-во АН СССР, 1951.
- Даламбер Ж. Динамика.–М. –Л.: ГИТТЛ, 1950.
- Декарт Р. Избранные произведения. - М.: Госполитиздат, 1950.
- Декарт Р. Рассуждение о методе. Серия «Классики науки». – М.: Изд-во АН СССР, 1953.
- Демокрит. Тексты/Перевод и исследования С. Я Лурье. - Л.: Наука, 1970.
- Дирак П. А. М. Принципы квантовой механики.–М.: физматгиз, 1960.
- Жолио-Кюри Фредерик и Ирен. Совместные труды. – М.: Изд-во АН СССР, 1957.
- Зоммерфельд А. Пути познания в физике.– М: Наука, 1973.
- Зоммерфельд А. Строение атома и спектры. – М.: Гостехиздат, 1956. – Т I, II.
- Иоффе А. ф. Избранные труды. – Л.: Наука, 1974. - Т. I.
- Клеро А. Теория фигуры Земли. Серия «Классики науки».– М.: Изд-во АН СССР, 1947.
- Коперник Н. О вращениях небесных сфер. Серия «Классики науки».–М.: Наука, 1964.
- Кюри Мария. Радиоактивность. – М.-Л.: ГТТИ, 1947.
- Кюри Пьер. Избранные труды. Серия «Классики науки». –М.-Л.: Наука, 1966.
- Лагранж Ж.Л. Аналитическая механика.-М.-Л.: ГИТТЛ, 1950.-Т. 1,11.
- Лазарев П.П. Сочинения.-М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950-1957 -Т I, II.
- Ландау Л. Д. Собрание трудов. - М.: Наука, 1969. - Т. I, II.
- Ланжевэн П. Избранные труды. Серия «Классики науки». –М.: Изд-во АН СССР, 1960.
- Лебедев П. Н. Собрание сочинений. Серия «Классики науки».–М.: Изд-во АН СССР, 1960.
- Леонардо да Винчи. Избранные естественнонаучные произведения. Серия «Классики науки».–М. –Л.: Изд-во АН СССР, 1955.
- Ленц Э. Х. Избранные труды. Серия «Классики науки», –М. –Л.: Изд-во АН СССР,

- 1950.
- Лобачевский Н И. Три сочинения по геометрии. - М.: Гостехиздат, 1956.
- Ломоносов М. В. Избранные труды по физике и химии. Серия «Классики науки».-М.: Изд-во АН СССР, 1961.
- Ломоносов М. В. Полное собрание сочинений.-М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950. -Т. 1; 1951.-Т. 2; 1952.-Т. 3.
- Лоренц Г А Лекции по термодинамике-М.-Л.: ГИТТЛ, 1946. •
- Лоренц Г. А. Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения. - М.: ГИТТЛ, 1955.
- Лукреций. О природе вещей. Серия «Классики науки».-М.: Изд-во АН СССР, 1946.-Т. I; 1947.-Т. II.
- Майер Р. Закон сохранения и превращения энергии.- М.-Л.: ГТТИ, 1933.
- Максвелл Клерк. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. - М.: Гостехиздат, 1952.
- Максвелл Джемс Клерк. Статьи и речи. - М.: Наука, 1968.
- Мандельштам Л. И. Полное собрание трудов.-М.-Л.:Изд-во АН СССР, 1947-1950. - Т. I-V.
- Мах Э. Механика.-Спб.: 1909.
- Менделеев Д. И. Основы химии. - М -Л.: Госхимиздат, 1947. - Т. I, II.
- Минковский Г. Пространство и время. -Спб.: 1911.
- Михельсон В. А. Собрание сочинений. - М.: 1930. - Т. I.
- Ньютон И. Математические начала натуральной философии/Пер. А.Н.Крылова. Отдельный оттиск из «Известий Николаевской Морской Академии», кн. I-II, 1915; кн. II и IV, 1916. То же в кн: Крылов А. Н. Собрание сочинений.- М.: Изд-во АН СССР, 1936.-Т. VII
- Ньютон И. Оптика/Пер. С. И. Вавилова.-М.: ГИЗ, 1927.
- Ньютон И. Лекции по оптике. Серия «Классики науки».-М.: Изд-во АН СССР, 1946.
- Паули В. Теория относительности. - М.-Л.: ГИТТЛ, 1947.
- Паули В. Общие принципы волновой механики.- М. - Л.: ГИТТЛ, 1947.
- Паули В. Релятивистская теория элементарных частиц. - М.: ГИИЛ, 1947.
- Паули В. Мезонная теория ядерных сил.-М.: ГИИЛ, 1947.
- Петров В. Известие о гальвани-вольтовых опытах.-М. -Л.: ГЭЛ, 1936.
- Планк М. Единство физической картины мира. - М.: Наука, 1966.
- Планк М. Избранные труды. Серия «Классики науки». -М.: Наука, 1975.
- Резерфорд Э. Избранные научные труды. Радиоактивность. Серия «Классики науки». -М.: Наука, 1971.
- Резерфорд Э. Избранные научные труды. Строение атома и искусственное превращение элементов.- М.: Наука, 1972.
- Рентген В. К. О новом роде лучей. - М.-Л.: ГТТИ, 1933.
- Рихман Г. В. Труды по физике.- М.: Изд-во АН СССР, 1956.
- Рождественский Д. С. Работы по аномальной дисперсии в парах металлов. Серия «Классики науки».- М.: Изд-во АН СССР, 1951.
- Столетов А. Собрание сочинений. - М.-Л.: ГТТИ,1939.-Т.1; 1941.-Т. 2; 1947.-Т. 3.
- Умов Н. Избранные сочинения. - М.-Л.: ГТТИ, 1950.
- Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Серия «Классики науки». -М.: Изд-во АН СССР, 1947.-Т. I; 1951.-Т. II; 1959.-Т. III.
- Ферми Э. Лекции по атомной физике.-М.: ГИЛ, 1952.
- Ферми Э. Элементарные частицы. - М.: ИИЛ, 1952.
- Ферми Э. Лекции о л -мезонах и нуклонах.-М.: ГИЛ, 1956.
- Ферми Энрико. Квантовая механика.-М.: Мир, 1965.
- Ферми Энрико. Научные труды в двух томах. Серия «Классики науки». - 1921-1938. Италия.-М.: Наука, 1971.-Т. I; 1939 - 1954. США, 1972. - Т. II.
- Фок В. А. Работы по квантовой теории поля.-Л.: Изд-во ЛГУ, 1957.

- Франклин В. Опыты и наблюдения над электричеством. Серия «Классики науки». - М.: Изд-во АН СССР, 1956.
- Френель О. Избранные труды по оптике. – М.: Гостехиздат, 1955.
- Френкель Я. И. На заре новой физики. – Л.: Наука, 1970.
- Фридман А. А. Избранные труды. Серия «Классики науки». – М.: Наука, 1966.
- Шредингер Э. Новые пути в физике. – М.: Наука, 1971.
- Эйлер Л. Основы динамики точки. – М.-Л.: ГИТТЛ, 1938.
- Эйнштейн А. Собрание научных трудов в четырех томах. Серия «Классики науки». – М.: Наука, 1965 -Т. 1; 1966.-Т.2,3; 1967 -Т.4.
- Эндрюс Т. О непрерывности газообразного и жидкого состояний вещества. – М.-Л.: ПТИ, 1933.
- Эпинус Ф. Т. У. Опыт теории электричества и магнетизма. Серия «Классики науки». – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1951.
- Эренфест П. Относительность.
- Кванты. Статистика. – М.: Наука, 1972.

4. Биографии и монографии, посвященные отдельным ученым

- Астащенко П. Т. Академик
И. В. Курчатов. – М.: Воениздат, 1971.
- Анциелиович Е. С. Леонардо да Винчи. – М.: Учпедгиз, 1955.
- Анциелиович Е. С. Галилео Галилей. – М.: Учпедгиз, 1955.
- Белькинд Л. Д. Андре Мари Ампер. - М.: Наука, 1968.
- Бублеиников Ф. Д. Галилео Галилей. – М.: Просвещение, 1964.
- Бренев И. В. Начало радиотехники в России. – М.: Советское радио, 1970.
- Вавилов С. И. Исаак Ньютон. – М.: Изд-во АН СССР, 1945.
- Вавилов С. И. Михаил Васильевич Ломоносов. - М.: Изд-во АН СССР, 1961.
- Веселовский И. Н. Христиан Гюйгенс. – М.: Учпедгиз, 1959.
- Григорьян А. Т., Вялыдев А. Н. Генрих Герц – М.: Наука, 1968.
- Головин И. Н. И. В. Курчатов. - М.: Атомиздат, 1972.
- Данилевский В. В. Ползунов И. И. - М.: Изд-во АН СССР, 1940.
- Дорфман Я. Г. Лавуазье. – М.: Изд-во АН СССР, 1962.
- Кудрявцев Б. Б. М. В. Ломоносов. – М.: Учпедгиз, 1955.
- Кудрявцев П. С. Исаак Ньютон. – М.: Учпедгиз, 1963.
- Кудрявцев П. С. Фарадей. – М.: Просвещение, 1969.
- Кузнецов Б. Г. Галилей. – М.: Наука, 1964.
- Кузнецов Б. Г. Эйнштейн. – М.:
Наука, 1967.
- Кюри Мария. Пьер Кюри. – М. Атомиздат, 1968.
- Кюри Е. Мария Кюри. – М.: Наука, 1973.
- Лебединский А. В. и др. Гельмгольц. – М.: Наука, 1966.
- Лежнева О. А., Ржонсниц Б. Н. Эмилий Христианович Ленц. – М. – Л.:
Госэнергоиздат, 1955.
- Меншуткин Б. Н. Жизнеописание Михаила Васильевича Ломоносова. – М.-Л. Изд-во
АН СССР, 1947.
- Осиновский А. Н., Коненков А. Ф. Д. С. Рождественский. – М.: Просвещение, 1974
- Понтекорво Б. Энрико ферми. – М.: Знание, 1971.
- Радовский М. И. Борис Семенович Якоби. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1953.
- Резерфорд – ученый и учитель. К 100-летию со дня рождения. – М.: Наука, 1973.
- Сердюков А. Р. Петр Николаевич Лебедев. - М.: Наука, 1978.
- Соминский М. С. Абрам Федорович Иоффе. – М.: Наука, 1964.
- Творцы физической оптики. Сборник статей. – М.: Наука, 1973.

Тепляков Г. М., Кудрявц е в П С. Александр Григорьевич Столетов. – М.: Просвещение, 1966.

Франкфурт У.И., Френк А.М. Г. А. Лоренц. - М.: Наука, 1974.