



**В.А. Гуриков**  
**ЭРНСТ АББЕ**

Изд. "Наука", М., 1985

## Введение

Жизнь выдающегося немецкого оптика и приборостроителя Эрнста Аббе начиналась и протекала в очень интересную эпоху, богатую важными историческими событиями и крупными открытиями в области науки и техники.

К середине XIX в. в результате прошедшей технической и промышленной революции было сформировано машинно-фабричное капиталистическое производство. В этих условиях все заметнее стала проявляться тенденция расширения и углубления взаимосвязей техники и науки. Для дальнейшего совершенствования крупного машинного производства необходимо было использовать достижения науки для изучения и решения конкретных практических задач. К. Маркс писал, что *"вместе с распространением капиталистического производства научный фактор впервые сознательно и широко развивается, применяется и*

*вызывается к жизни в таких масштабах, о которых предшествующие эпохи не имели никакого понятия" \*.*

Среди задач, связанных с использованием научных достижений в производстве, все большее значение стало приобретать совершенствование различных приборов и инструментов. Специальные приборы и инструменты, с помощью которых велись научные наблюдения, стали необходимым звеном в познании того или иного явления.

Для того чтобы понять, чем обусловлены качественные сдвиги в приборостроении рассматриваемого периода и выявить новые требования, предъявляемые к нему со стороны науки и техники, необходимо остановиться на крупнейших достижениях естественных наук, появившихся к тому времени.

Период с середины XIX в. и до начала XX в. - один из важнейших в развитии современного естествознания, период революционных открытий в различных областях естественных наук и ломки старых представлений о мире. Точные естественные науки развиваются в это время на основе обширного практического опыта, обогащая со своей стороны новыми научными открытиями.

В рассматриваемый период происходит дальнейшая специализация науки, появление новых ее отраслей. В то же

*\* Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 47, с. 556.*

время ранее обособленные и самостоятельно развивавшиеся отрасли знания начинают связываться новыми "пограничными" науками. Этот процесс заключается в том, что каждая новая область знания перекидывает "мостик" над "ничейными землями", образуя связь между двумя и более науками. Так, переход от физики к химии и обратно составили физическая химия, и химическая физика между биологией и химией - биохимия и т.п. Кроме того, возникновение новых наук происходило в результате взаимного переноса теорий и принципов из одной науки в другую. Одним из первых примеров такого рода может служить возникновение в 60-х годах XIX в. астрофизики в результате использования спектрального анализа как физического метода при изучении астрономических объектов.

Если наука до второй половины XIX в. не знала, как определить физическую природу процессов и явлений, происходящих во Вселенной, то теперь такая наука, как астрономия, обогатилась новыми методами изучения космоса. Эти методы - спектральный анализ и фотография - были основаны на достижениях физики и химии. Спектральный анализ нашел также широкое применение в химии для качественного и количественного анализа и исследования молекулярного строения вещества. Удовлетворение потребностей астрономии, физики, химии и других наук в средствах спектрального анализа привело к возникновению и развитию новой области знания - спектроскопии.

Одним из первых спектроскопов был прибор Г.Р. Кирхгофа и Р.В. Бунзена. Он имел ряд существенных недостатков и по этой причине подвергся ряду усовершенствований. Для увеличения дисперсии известным немецким оптиком К.А. Штейнгелем во второй половине XIX в. был создан спектроскоп с четырьмя призмами. Первые три призмы имели преломляющий угол  $45^\circ$ , а четвертая -  $60^\circ$ . Впоследствии вместо призм в качестве диспергирующего элемента стали применять дифракционные решетки, которые давали значительное светорассеяние. Одним из первых такие дифракционные решетки начал изготавливать Й. Фраунгофер. Они представляли собой либо рамку, на которую были натянуты тонкие параллельные проволочки, либо зачерненную сажей стеклянную пластинку, на которую были нанесены штрихи. В 80-х годах XIX в. профессором Роуландом были изготовлены вогнутые металлические решетки высокого качества. С их помощью удалось получить прямое действительное изображение спектров без помощи вспомогательных оптических элементов (линз). Это было особенно важно, так как позволяло производить непосредственное фотографирование спектров. В 1888 г. в Америке был составлен первый подробный атлас солнечного спектра.

В процессе своего развития техника постоянно оказывает существенное влияние на прогресс науки, обеспечивая ее необходимым оборудованием. В свою очередь, наука, получив необходимые "инструменты" для исследований, играет активную роль по отношению, к технике, открывая

закономерности природы и указывая возможности их практического применения.

Требования науки и техники к созданию приборов, обеспечивающих наблюдение, измерение, контроль, регистрацию и т.п., привели к бурному развитию прикладной оптики и оптического приборостроения. Качественные сдвиги в приборостроении рассматриваемого периода объясняются в первую очередь крупнейшими открытиями в области физики.

Наши знания о строении вещества значительно расширились в результате великих физических открытий, сделанных К. Рентгеном в 1895 г. (рентгеновские лучи); А. Беккерелем в 1896 г. (явление радиоактивности) и Дж. Томсоном в 1897 г. (обнаружение электрона). Вслед за этими открытиями последовали другие. В 1898 г. М. и П. Кюри открыли новый химический элемент - радий, обладающий ярко выраженными радиоактивными свойствами. В 1900 г. М. Планк создал квантовую теорию, а в 1902-1903 гг. Э. Резерфорд и Ф. Содди - теорию радиоактивности. В проведении упомянутых и других фундаментальных исследований роль приборов была чрезвычайно велика.

Одна из важных проблем физики второй половины XIX в. - экспериментальное обнаружение и количественное измерение светового давления. Эта задача, представляющая для экспериментаторов огромные трудности, была успешно решена в 1899 г. русским физиком П.Н. Лебедевым\*.

\* *Лебедев П.Н. Собр. соч. М.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 395.*

Другой не менее важной проблемой физики конца XIX в. было определение скорости света. Одно из первых определений скорости света экспериментальным путем было выполнено французскими учеными И. Физо в 1849 и Л. Фуко - в 1850 г. Однако вопрос, зависит ли скорость

распространения светового сигнала от скорости движения источника оставался открытым. Этот вопрос, имеющий принципиальное значение, был решен в конце XIX века американским ученым А. Майкельсоном\*. Опыт, поставленный им с помощью интерференционной установки, явился одним из экспериментальных оснований теории относительности.

Явление внешнего фотоэффекта было открыто немецким физиком Г. Герцем в 1887 г. В 1888 г. русский физик А.Г. Столетов начал систематические исследования этого явления\*\*. Столетов открыл первый закон фотоэффекта - сила фототока прямо пропорциональна интенсивности падающего света - и создал первый в мире газонаполненный фотоэлемент, основанный на явлении внешнего фотоэлектрического эффекта. Этот прибор явился одним из первых селективных приемников излучений и в значительной степени способствовал становлению оптико-электронного приборостроения как самостоятельной области техники.

\* *Майкельсон А.А.* Световые волны и их применения. М.; Л.: ГТТИ, 1934.

\*\* *Столетов А.Г.* Собр. соч. М.; Л.: Гостехиздат, 1939, т. 1, с. 263.

Велика была роль приборов и в экспериментальном подтверждении механизма фотоэффекта. Как известно механизм внешнего фотоэффекта был раскрыт в 1905 г. А. Эйнштейном на основе квантовых представлений о природе света. Им было получено уравнение, выражающее второй закон внешнего фотоэффекта: максимальная

кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой излучения и не зависит от его интенсивности.

Развитие военной техники, металлургии, машиностроения, теплоэнергетики, средств транспорта также предъявляло новые требования к приборостроению. Во второй половине XIX в. расширяются области практического использования электричества и оптики. Все большее распространение получает телеграф, совершенствуются телескопы, подзорные трубы, микроскопы.

Претерпевает существенную реорганизацию и сам процесс производства приборов. На смену небольшим мастерским приходят предприятия промышленного типа, например, такие, как оптическая фирма "Карл Цейсс" в Йене (1846 г.). В отличие от лондонской фирмы "Хильгер", специализировавшейся преимущественно на спектральном оборудовании, фирма "Цейсс" поставляла высококачественную ахроматическую оптику, использовавшуюся в самых разных областях науки и техники. В конце XIX - начале XX в. фирмы, изготовлявшие разнообразные оптикомеханические приборы, появились в



различных странах (первое место по приборостроению занимала Германия).

Становлению фирмы "Цейсс" способствовало ее сотрудничество с предприятием по производству оптического стекла, которое создал Отто Шотт в 1884 г. там же, в Йене. Участие же в делах фирмы "Цейсс" такого выдающегося специалиста, как Аббе, способствовало успешной деятельности этой фирмы, позволило ей производить продукцию высокого качества.

## *Глава первая*

# **Жизненный путь Эрнста Аббе**

## **Детство и юность**

40-е годы XIX в. ознаменовались началом индустриальной революции в Германии. С конца 40-х годов промышленная революция начинает быстро захватывать одну отрасль производства за другой и к концу 60-х годов XIX в. завершается. К началу 70-х годов Германия настолько оснастила свое хозяйство первоклассной машинной техникой, что вышла на первое место в Европе по многим видам промышленной продукции.

Эрнст Аббе родился 23 января 1840 г. в г. Эйзенахе в рабочей семье. Его отец - Адам Аббе, работал ткачом на фабрике Ейхеля в Эйзенахе; мать - урожденная Бархфельд, вела домашнее хозяйство. Нужда была частым гостем в доме. Аббе еще в раннем детстве вынужден был зарабатывать себе на жизнь. Восемилетним мальчиком встретил он события 1848-1849 гг. В Берлине и Дрездене возникли революционные кружки, которые появились затем и в Веймаре, Йене и Эйзенахе. Членом одного из таких кружков, в Эйзенахе был и отец Аббе. Революционеры выступали против прусского полицейского режима, за демократию и свободу.

Родители Аббе жили в то время на старой мельнице в тяжелых условиях. Как человек, занимающийся революционной деятельностью, отец Аббе мог быть арестован в любое время. Эта обстановка в семье оставила глубокий след в сознании Эрнста. Так как Адам Аббе работал на фабрике с 4 часов утра до 8 вечера, вся тяжесть воспитания детей ложилась на плечи матери (у Эрнста была еще сестра). Заболев туберкулезом, мать Аббе умерла, когда ему было восемнадцать лет. В школу Эрнст Аббе пошел с шести лет. Отмечая большие успехи мальчика, учителя советовали отцу отдать его в лучшую школу города, но денег на это не было, и Эрнст продолжал учиться на прежнем месте,

Фабрике Ейхеля, на которой работал Адам Аббе, требовались квалифицированные кадры. Поэтому Эрнсту, проявившему большие способности, была предоставлена возможность продолжить свое образование в реальной гимназии Эйзенаха. Любимыми предметами Аббе стали физика и математика. Он с удовольствием изучал латинский язык, занимался переводами произведений К.Ф. Гаусса. Во всех классах гимназии Эрнст был лучшим учеником.

Темой его дипломной работы была геометрическая оптика. Формулировалась эта тема следующим образом: "Определение положения изображения, даваемого сферическим зеркалом при его перемещении и изменении угла наклона к оптической оси". Эта дипломная работа получила наивысшую оценку. Перед семнадцатилетним Аббе встал вопрос о поступлении в университет. Но кто

будет платить за учебу? Дирекция фабрики Ейхеля не была заинтересована в дальнейшем обучении Аббе: ей были нужны квалифицированные рабочие, а не инженеры.

Отец Аббе, гордый успехами сына, нашел возможность внести за него необходимую начальную плату за обучение, и семнадцатилетний Эрнст отправился в университет Йены.

Йена была в то время маленьким городком, население которого едва достигало 7000 человек. Город не был связан железной дорогой с другими городами и жил в идиллической изолированности от остального мира. Йенский университет был небольшим и насчитывал в 1857 г. около 400 студентов. Студент Аббе вел в Йене аскетический образ жизни - ведь ему приходилось платить за обучение от 200 до 250 талеров в год. Не получая материальной поддержки от отца, Аббе зарабатывал себе на жизнь, давая частные уроки. Но, несмотря на все трудности, два года, проведенные в Йене, остались в памяти Аббе самыми счастливыми годами.

В Йенском университете Эрнст был снова в числе лучших студентов. Лекции читали известные ученые: физику - Карл Снелль, математику - Герман Шейфер, ботанику - Маттиас Якоб Шлейден, кристаллографию - Е.Е. Шмидт, философию - Куно Фишер. В Йене Эрнст Аббе познакомился с мастерской Карла Цейсса, в которой проводились некоторые практические занятия и изготавливались отдельные приборы и инструменты для университета.

На третьем семестре обучения в Йенском университете Аббе принял участие в конкурсе, организованном философским факультетом университета. Конкурсная задача формулировалась следующим образом: *"Дать историческое изложение и оценку важнейших работ физиков, в которых они определили теоретически или экспериментально количество тепла, образующееся или исчезающее при изменении объема различных газов в границах их применимости"*.

Аббе стал победителем этого конкурса. Он получил первую премию - 40 талеров и серебряную памятную медаль. 3 июня 1858 г. Аббе выступил с докладом "Индуктивное доказательство эквивалентности тепла и работы для перманентных газов" в Йенском математическом обществе, которым в те годы руководил Г. Шейфер. Конкурсная работа Аббе, по словам куратора Йенского университета М. Зеебека, *"вызвала особое удовлетворение компетентных членов факультета, хотя Аббе учился только на третьем семестре и не имел никакой помощи со стороны. Его учителя заверяют, что он, без сомнения, является прирожденным ученым"*. Зеебек далее рекомендовал Аббе влиятельным должностным лицам как человека, которому *"в будущем вполне можно оказать покровительство и милость"* \*.

- [Forschungen zur Geschichte der Optik. Carl-Zeiss-Jena, 1936, Bd. II, S. 8-9.](#)

После четырех семестров обучения в Йенском университете Аббе понял, что для дальнейшего образования и обучения физико-математическим наукам ему необходимо перейти в Гёттингенский университет. Именно там преподавали в то время наиболее выдающиеся профессора в области физико-математических наук. В 1849 г. после, двенадцатилетнего отсутствия вернулся туда Вильгельм Вебер - выдающийся физик и прекрасный экспериментатор.

Основные научные труды Вебера относятся к изучению электрических и магнитных явлений. Им был открыт закон взаимодействия движущихся зарядов, разработана абсолютная система электрических и магнитных единиц. В 1856 г. Вебер совместно с Ф.В. Кольраушем экспериментально определил скорость света, изучал волновые процессы.

В числе профессоров Гёттингенского университета был и Бернхард Риман - ученик К.Ф. Гаусса, К. Якоби и П. Дирихле. Работы Римана оставили заметный след в истории математики. Он является создателем одной из неевклидовых геометрий, внес значительный вклад в теорию дифференциальных уравнений и в теорию функций комплексного переменного. Новые геометрические идеи Римана нашли применение также в физике (теория относительности). Большое практическое значение для вычислительной математики имела работа Римана "О возможности представления функций посредством тригонометрического ряда". Немалый вклад сделал Риман и в теорию множеств.

30 апреля 1859 г. Аббе переехал в Гёттинген. Очень скоро профессора и преподаватели университета заметили выдающиеся способности Аббе. Доктор Шеринг, читавший курс лекций по теории наименьших квадратов, предложил Аббе посещать его лекции. Так же, как и в Йенском университете, любимыми предметами Аббе оставались математика, физика и астрономия.

16 марта 1861 г. Эрнст Аббе защитил докторскую диссертацию "Эмпирическое обоснование закона эквивалентности тепла и механической работы", получившую блестящую оценку со стороны Вильгельма Вебера. Вскоре после защиты, летом 1861 г., Аббе становится ассистентом Гёттингенской астрономической обсерватории. Занятия астрономией не были, однако, пределом мечтаний Аббе, и вскоре он покидает Гёттинген, получив место доцента в Физическом институте во Франкфурте-на-Майне.

О своей жизни во Франкфурте Аббе писал: *"Встаю я в 7 часов утра, если я не высыпаюсь, то работаю до обеда дома (если не должен идти в тот день в Кабинет). После обеда немного отдыхаю и читаю газету «Союз горожан», затем тружусь снова до самого вечера..."* \*. Работая во Франкфурте, Аббе опубликовал в "Годовых отчетах физического общества" две интересные статьи по проблемам совершенствования методов астрономических наблюдений \*\*.

\* Цит. по кн.: *Esche P. G. Ernst Abbe. Leipzig, 1963, S. 26-27.*

\*\* *Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906, Bd. II, S. 116.*

Летом 1862 г. Аббе едет отдыхать в Эйзенах и там завершает работу "О закономерности в распределении ошибок при серийных наблюдениях", дающую ему право получить по конкурсу должность доцента на философском факультете Физического института во Франкфурте.

Упомянутая работа Аббе явилась развитием исследований К.Ф. Гаусса по применению метода бесконечно малых квадратов в теории измерений. Аббе установил, что значение результатов измерений зависит от предположения, что *"с одной стороны, предложенная математическая функция выражает истинный закон зависимости для соответствующих однозначно определяющихся элементов... а с другой стороны, эмпирически заданные отдельные значения содержат лишь случайные ошибки наблюдений. Если суммировать обе предпосылки, то получается требование: разницы, остающиеся после выбора подходящих констант, объясняются исключительно случайными ошибками измерений"*. После этого Аббе решает найти закономерности, *"на основании которых, если имеется какая-то система разниц между результатами наблюдений и расчетными значениями величины, может быть определена вероятность, выраженная в числах, которая говорит о том, что эти разницы возникли только из случайных ошибок наблюдений"*. Критерием сказанного Аббе считает полученное им отношение



$$\mu = \frac{\mathcal{Q}}{\Delta}, \text{ где}$$

$$\mathcal{Q} = 2(X_1X_2 + X_2X_3 + X_3X_4 + \dots + X_nX_{n+1}),$$

$$\Delta = X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + \dots + X_n^2$$

где  $\mu$  - критерий Аббе;  $X$  - ошибки наблюдений.

Анализируя это соотношение, Аббе пишет: *"Ошибки случайного происхождения относительно часто бывают в тех системах, для которых  $t = 2$ , и относительно редко для таких, где это отношение значительно отличается от 2 и приближается к пределам 0 или 4"*\*. Интересно отметить, что в современной специальной литературе сохранился этот критерий, который называется критерием случайности Аббе-Гельмерта.

Упомянутая работа Аббе получила высокую оценку М. Зеебека, а сам Аббе 12 августа 1863 г. получил диплом магистра.

Во время жизни во Франкфурте у Аббе появилось много друзей и знакомых, которые впоследствии оказались ему весьма полезны. Он познакомился с доктором медицины Валлахом, с которым часто вел диспуты на философские темы. Среди друзей и знакомых Аббе были: астроном Лорей, доктор Рейс, математик доктор Крайльсхейм, Харольд Шютц и др.

\* Ibid.

## Восхождение

Осенью 1863 г. Аббе возвращается в Йену, где получает должность приват-доцента в Йенском университете. В этом городе Аббе суждено было прожить большую часть жизни - 35 лет, этому городу имя Аббе принесло мировую славу.

В стенах университета Аббе встречается с крупнейшими учеными Германии: профессором физики К. Снеллем, профессором философии Г. Фишером, известным физиком М. Зеебеком. В 1870 г. Аббе становится экстраординарным, а в 1878 г. - ординарным профессором Йенского университета.

В начале своей педагогической деятельности Аббе читал отдельные курсы по математике, физике, механике, измерительным инструментам. Позднее все свое внимание он уделил курсу оптики. Так, по теории оптических приборов Аббе прочитал за период 1869-1891 гг. 11 курсов лекций. Он читал также специальные курсы по аналитической и математической оптике, а также по технике оптического эксперимента.

Интересно отметить, что на протяжении всей своей преподавательской деятельности Аббе старался воспитать для фирмы Цейсса таких сотрудников, которые были бы способны применять полученные знания в своей практической деятельности. Сохранилось письмо, написанное Аббе 13 мая 1884 г. своему ученику Зигфриду Чапскому. В этом письме Аббе перечисляет те данные,

которыми должен обладать, по его мнению, будущий научный сотрудник:

*"Во-первых, для самостоятельной работы нужно уметь самому ставить перед собой задачи и создавать вспомогательные средства для их решения. Руководствуясь одними лишь традиционными правилами и указаниями со стороны, невозможно уйти далеко, ибо задачи слишком разнообразны и постоянно меняются.*

*Во-вторых, необходим живой контакт с практикой, который, разумеется, может быть приобретен только в результате длительного опыта. Нужно знать, какими средствами располагает техника, чтобы достичь того, что теория показывает как принципиально возможное; нужно знать, к чему способна техника и что она не позволяет реализовать" \*.*

В своих воспоминаниях о лекциях Аббе знаменитый физик Отто Луммер в начале XX в. писал:

*"Аббе редко доводил до конца свой теоретический курс лекций. Тем больше была его радость в том случае, когда он получал возможность ознакомить со своими теориями круг лиц, разбирающихся в этих вопросах... Рука об руку с чисто теоретическими лекциями шло ознакомление с практической оптикой и экспериментальными*

\* Цит. по журн.: Йенское обозрение, 1975, приложение к №1, с. 4.

*подтверждениями теории Аббе об образовании изображений от несамосветящихся объектов... Аббе сам лично демонстрировал неподobie изображения микрообъектов при искусственном диафрагмировании. Это было великопепное время!" \**

У Аббе были тесные дружеские связи с профессором физики Карлом Снеллем. В 1871 г. Аббе женился на дочери Снелля - Эльзе.

Период жизни Аббе с 1866 по 1889 г. связан с деятельностью известного немецкого механика и оптика Карла Цейсса. С самого начала организации в 1846 г. своей фирмы Карл Цейсс старался претворить в жизнь идею *"основывать практическое конструирование микроскопов целиком на научной теории и поставить под ее строгий контроль все их изготовление" \*\**.

\* *Lummer O., Reiche F.* Die Lehre von der Bildenstehung im Mikro-skop von Ernst Abbe. Braunschweig, 1910, S. 4-5. Цит. по: Йенское обозрение, 1966, N 3, с. 18.

\* *Йобст Р.* 120-летие фирмы "Карл Цейссе Йена" и 150-летие со дня рождения Карла Цейсса. - Астрон. журн., 1967, т. 44, вып. 1, с. 227-232.



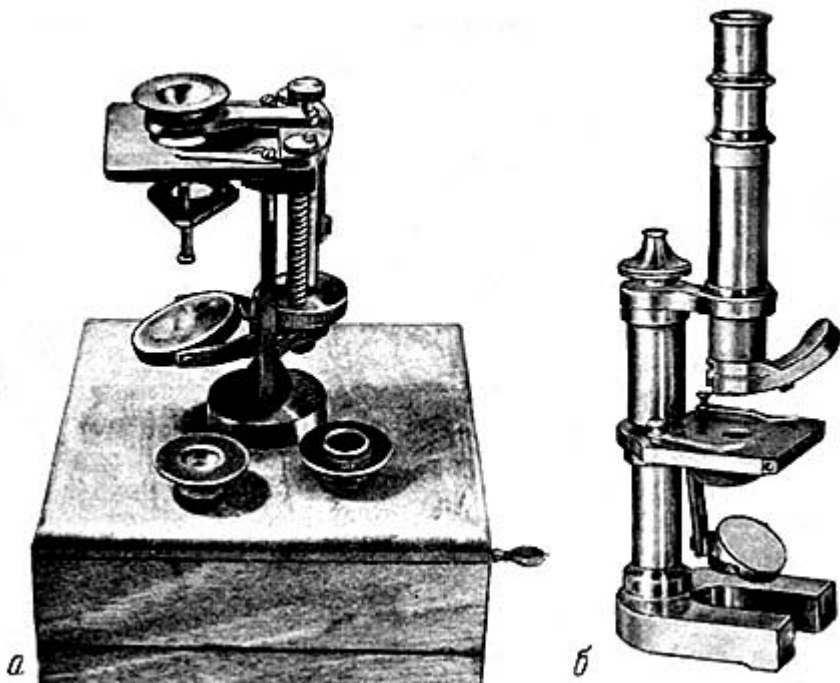
**Карл Цейсс**

В 1847 г. Цейсс публикует в Ботанической газете объявление о продаже микроскопов с тремя увеличениями в 15х, 30х и 120х. Клиентами Цейсса были в то время профессор ботаники Якоб Маттиас Шлейден (один из

основоположников клеточной теории), профессор Е. Шмидт, доктор Хесслинг, профессор Снелль и др.

На протяжении многих лет профессор Шлейден был одним из основных заказчиков микроскопов у Цейсса. Да и сама идея производства микроскопов на предприятии Цейсса принадлежит Шлейдену. Этот ученый по достоинству оценил качество и возможности цейссовских микроскопов и дал им путевку в жизнь.

Постепенно микроскопы Цейсса получили признание и распространение в широких кругах специалистов. Один из первых сотрудников Цейсса, Август Лебер достиг поразительных успехов в деле шлифовки и изготовлении линз. При этом он пользовался методом Й. Фраунгофера: для контроля качества обработки поверхностей линз использовал пробное стекло, а для измерения радиусов кривизны линз - сферометр, конструкция которого была предложена Георгом Рейхенбахом в начале XIX в. Использование пробного стекла для контроля поверхностей линз посредством наблюдения интерференционных "колец Ньютона" являлось надежной гарантией контроля качества обрабатываемых линз.



*Рис. 1.* Простой микроскоп, изготовленный на фирме "Карл Цейсс" в 1847 г. (а) и сложный микроскоп, выпущенный фирмой "Карл Цейсс" в 1860 г. (б)

Первыми микроскопами, которые изготавливались на фирме Цейсса, были простые микроскопы (рис. 1,а). Эти микроскопы содержали только одну линзу и устанавливались прямо на футляр для хранения с помощью специальных салазок, передвигающихся вдоль направляющих. В комплект микроскопа входило, как

правило, три-четыре сменные линзы (для получения различных увеличений). Наводка на резкость осуществлялась посредством ходового винта, связанного с оправой линзы.

В 1858 г. Цейсе предпринял первую попытку создать сложный микроскоп (рис. 1,б), состоящий из двухлинзового объектива, коллективной линзы и двухлинзового окуляра. В микроскопе была применена система освещения, предложенная самим Цейссом. В 1861 г. в мастерской Цейсса выпускалось уже шесть типов сложных микроскопов. В период с 1846 по 1866 г. предприятие Цейсса изготовило 1000 таких микроскопов.

Число сотрудников Цейсса быстро росло и увеличилось с 10 человек в 1850 г. до 1600 - в 1905 г. Часть сотрудников поступила на работу в фирму после окончания Йенского университета, с которым у фирмы Цейсса установился тесный контакт. Для работы в своей мастерской Цейсе стремился привлечь наиболее одаренных людей. В 1854 г. к нему поступил на работу известный в Йене математик Ф. Б. Барфус. В это время на мировом рынке появились микроскопы с иммерсионными объективами, выпускаемые всемирно известной парижской фирмой "Гартнак". На первых порах Цейсе столкнулся со значительными трудностями в изготовлении иммерсионных объективов. Неудача в изготовлении этих объективов еще раз привела Цейсса к мысли о необходимости привлечения к работе хорошего научного сотрудника, способного оказать



действенную помощь в расчете оптических систем микроскопов. Таким сотрудником стал Эрнст Аббе.

В первый год своей работы у Цейсса Аббе пытался перестроить производство оптических инструментов на научной основе. Создававшиеся до того оптические приборы изготавливались с использованием эмпирических методов.

О необходимости перехода от эмпирических методов к теоретическим расчетам, предварявшим создание того или иного оптического прибора, Аббе в 1873 г. писал:

*"В руководствах по получению микроизображений лишь случайно затрагивается тот факт, что конструирование микроскопа и его постоянное усовершенствование было и остается до сих пор почти исключительно делом эмпирики, удачного и продолжительного экспериментирования опытного практика. Иногда, впрочем, ставится вопрос, почему теория, позволяющая с достаточной точностью предсказать особенности функционирования готовых микроскопов, не может одновременно использоваться при их конструировании, т.е. почему не удастся изготавливать по теоретически разработанным правилам оптические инструменты этого типа, так же, как, например, со времен Фраунгофера обстоит дело со зрительными трубами, а в последнее время - с оптическими объективами фотографических камер. Причину продолжительного использования эмпирических методов в общем случае ищут в технических трудностях, связанных с изготовлением приборов. Ошибочно предполагают, что невозможно с*

*требуемой точностью выдержать при создании объективов микроскопов предписанные размеры для отдельных элементов их конструкции" \**.

И далее:

*"Внимательный учет научных и технических вспомогательных средств, находящихся в распоряжении практической оптики, а также обсуждение в ходе теоретической дискуссии различных трудностей и решающих условий привели к подтвержденному конечным успехом убеждению, что при теперешнем состоянии оптической техники изготовление линз и линзовых систем с предписанными размерами всех элементов и с гарантирующей высокое качество точностью не является делом более трудным, а скорее более легким, чем удовлетворение другим требованиям, предъявляемым в каждом конкретном случае" \*\*.*

Аббе показал, что разрешающая способность микроскопов не беспредельна: она ограничена волновой природой света. Поэтому нельзя разглядеть в микроскоп объект, размеры которого меньше половины длины световой волны (т.е. меньше 0,25 мкм). Но даже для достижения указанного предела нужно было научиться рассчитывать оптическую систему микроскопа, свободную от многочисленных aberrаций (ошибок), которыми эта система обладает. В решении этих: вопросов Аббе достиг блестящих результатов.

\* *Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1904, Bd. I, S. 45.*

\*\* *Ibid., S. 46.*

Открытый Аббе в 1870 г. "закон синусов" сыграл огромную роль в развитии научных методов расчета оптических систем. При несоблюдении этого закона точки предмета, близко расположенные к оптической оси, изображались нерезко.

Выполненные Аббе в 1871 - 1873 гг. работы позволили создавать объективы микроскопов на основе строгих расчетов. Микроскопы, выпускавшиеся фирмой Цейсса, стали лучшими микроскопами в мире. Вспоминая впоследствии об этом периоде своей жизни, Аббе писал:

*"Вот уже в течение некоторого времени микроскопические системы, отвечающие до известной степени современным требованиям, от начала до конца изготавливаются согласно теоретическим предписаниям.*

*При этом параметры рассматриваемых устройств рассчитываются на основе точного исследования применяемых материалов вплоть до последних подробностей: каждого закругления, каждой оптической толщины, каждого светового диаметра линзы. В результате совершенно исключается эмпирический подход. Для каждого подлежащего обработке стекла прежде всего с помощью спектрометра определяются оптические константы для пробной призмы... Отдельные элементы конструкции изготавливаются согласно предписанным размерам с возможно более высокой точностью. Затем производится сборка конструкции. Только в случае сильных объективов один параметр конструкции (расстояние*

*между линзами) до настоящего времени остается изменяющимся, для того чтобы можно было вновь компенсировать неизбежные незначительные погрешности работы" \*.*

В 1876 г. фирма Цейсса отмечала выпуск 3000-ного микроскопа. В том же году Аббе, согласно заключенному с ним контракту, стал равноправным участником этой фирмы. Однако Аббе не был полностью удовлетворен достигнутыми результатами.

*"В течение двух последних десятилетий, - писал он, - в данной области ничего не было сделано, если смотреть по существу и судить с точки зрения перспектив развития микроскопических исследований, что могло хотя бы отдаленно сравниться с прогрессом, принесшим славу Плесслию и Оберхойзеру среди наших предшественников, с тем, чего в свое время добился Амичи, что могло встать в один ряд с усовершенствованиями, внесенными в технику изготовления объективов Андре Россом в сороковые годы в Англии, или важными достижениями в области иммерсионных линз, обусловленными работами Гартнака. - и добавляет: Автору, желая избежать неправильного толкования сказанного и упреков по поводу недооценки последних достижений, хотелось бы добавить, что его суждение относится в такой же степени к собственным многолетним работам в данной области, как и к исследованиям других ученых" \*\*.*

\* Ibid., S. 131.

\*\* Ibid., S. 131-132.

Аббе хорошо понимал, что в борьбе с хроматическими aberrациями объективов микроскопов он еще не одержал полной победы. Улучшению aberrационных характеристик объективов мешало также отсутствие необходимого ассортимента оптического стекла с различной относительной дисперсией. Много усилий было затрачено Аббе, чтобы побудить стекольные мастерские изготавливать новые сорта оптического стекла с определенными свойствами.

Во времена Аббе (вторая половина XIX в.) уже было известно, что видимый оптический диапазон - это довольно узкая область оптического спектра, находящаяся в интервале от 434,1 нм (ртутная линия спектра  $G'$ ) до 766,5 нм (красная линия спектра  $A'$  принадлежащая водороду). Слева этот видимый диапазон граничит с ультрафиолетовой областью спектра, а справа - с инфракрасной.

Аббе предложил выделить в видимом оптическом диапазоне спектра следующие опорные точки:

Линии спектра	$A'$	$C$	$D$	$F$	$G$
Длина волны, нм.	766,5	656,3	589,3	486,1	434,1

Чтобы сопоставить свойства различных оптических стекол, можно воспользоваться значениями показателей преломления для каких-либо двух длин волн, например:  $C$  и

Г. Разность показателей преломления ( $n_F - n_C$ ) называют средней дисперсией.

$$\frac{1}{\lambda} = (n_F - n_C) / (n_D - 1).$$

Аббе установил, что значение одной только величины средней дисперсии недостаточно для полной характеристики хроматических свойств той или иной оптической среды. Поэтому Аббе предложил пользоваться понятием относительной дисперсии, определяемой отношением средней дисперсии к разности между основным показателем преломления среды и единицей:

Величина  $v$ , обратная относительной дисперсии, вошла в прикладную оптику под названием коэффициента дисперсии, или числа Аббе. Для оптических стекол различных марок числа Аббе колеблются в пределах от 75 до 16.

В 1876 г. Аббе едет в Лондон на Международную выставку научных приборов. Что же увидел Аббе на этой выставке? Прежде всего его поразило многообразие выставленных здесь микроскопов и принадлежностей к ним. Наряду с известными английскими фирмами в выставке приняли участие такие немецкие фирмы, как "Зейгерт", "Шмидт и Хенш", "Карл Цейсе", "Эрнст Лейтц", французская фирма "Наше".

Фирма Цейсса демонстрировала микроскоп с осветительным аппаратом Аббе. Грубая наводка в этом инструменте осуществлялась посредством зубчатой рейки, а точная - микрометрическим винтом. Наклонный штатив микроскопа позволял применять совместно с ним фотографические камеры для осуществления микросъемок объектов наблюдения. В комплект микроскопа Цейсса входил набор объективов с фокусными расстояниями от 0,7 до 30 мм.

Особое внимание Аббе привлекли стереонасадки к микроскопам, дающие возможность осуществлять бинокулярное наблюдение. Впоследствии Аббе разработал свою собственную конструкцию стереоскопического окуляра, который вставлялся в верхнюю часть трубки микроскопа вместо обычного окуляра. Тем самым с помощью любого микроскопа можно было осуществлять стереоскопические наблюдения.

Сделаем небольшое отступление и посмотрим, как качество оптического стекла влияло на развитие оптического приборостроения. Телескопы Г. Галилея (1609 г.) состояли из линз, изготовленных из стекла одного-единственного сорта. Однако уже Галилей понимал, что стекло для изготовления линз для очков и для зрительных труб должно быть совершенно различно и использование очковых линз в зрительных трубках совершенно неприемлемо. Изображения, наблюдаемые в телескоп Галилея, были сильно искажены аберрациями (в первую очередь сферической и хроматической).

Первым шагом на пути борьбы с хроматическими aberrациями было открытие в 1666 г. И. Ньютоном явления дисперсии света и попытка создания ахроматического объектива. Такой объектив был создан, однако, лишь в 1757 г. английским оптиком Д. Доллондом. Ахроматический объектив Доллонда состоял из комбинации двух линз, изготовленных из стекла с различной дисперсией - крона \* и флинта \*\*. Флинт был открыт практически случайно при попытке улучшить светопропускание стекла из крона, которое в то время имело ярко выраженный зеленый оттенок. Очень скоро было установлено, что новое стекло (флинт) наряду с более высоким светопропусканием имеет почти в два раза большую дисперсию, чем стекло из крона. Сочетание линз, изготовленных из стекол с различной дисперсией (крона и флинта) дало возможность значительно улучшить качество изображения, даваемого оптическими инструментами различного назначения.

В 1814 г. на основе оптических мастерских в Бенедиктбейерне была основана немецкая фирма "Утцшнейдер и Фраунгофер". Выпускаемые этой фирмой оптические инструменты получили широкое распространение во всем мире. Фраунгофер значительно улучшил технологию производства оптического стекла.

\* Крон - оптическое стекло с малой дисперсией. В его состав входят кремнезем, борный ангидрид, окислы алюминия и другие вещества.

\*\*Флинт - оптическое стекло, содержащее большое количество окиси свинца. Благодаря этому флинты обладают большим, чем другие сорта стекол, показателем преломления и большей дисперсией.



Совместно с П.Л. Гинаном он внес существенные усовершенствования во все процессы изготовления оптического стекла и наладил фабричное производство хороших флинтгов и кронов.

В 1829 г. появляется первое сообщение об опытах известного немецкого химика Деберейнера по выплавке оптического стекла в Йене.

Крупные денежные средства для организации производства оптического стекла в Йене Деберейнеру предоставил великий Гёте. Однако расцвет Йенского оптического производства связан прежде всего с именем немецкого стеклохимика доктора Отто Шотта. В 1884 г. Шотт знакомится с Аббе и принимает его предложение основать в Йене фирму по производству оптического стекла.

Успех к Шотту пришел не сразу. Сначала была полоса неудач: не удавалось достигнуть однородности расплавов стекла. Наконец Шотту удалось решить проблему получения высококачественного оптического стекла с заранее заданными свойствами. Им также была исследована взаимосвязь между показателем преломления и составом расплава стекла. В своем письме к Шотту Аббе отмечал:

*"Я считаю большим успехом то, что Вам удалось получить в маленьких тиглях пробные плавки такого качества, что*

*теперь стало возможным полное их исследование. Пока для*



**Отто Шотт**

*получения одной-единственной призмы, пригодной для исследования, все еще требуется изготовление проб весом от 60 до 80 фунтов, о каком-либо систематическом опробовании новых комбинаций не может быть и речи.*

*Ваши пробные плавки позволяют теперь раскрыть многообразные оттенки оптических свойств стекла, о которых раньше нельзя было даже мечтать при существующих до сих пор методах исследования" \*.*

Практически все виды оптического стекла Шотта (кронгласа) были получены на щелочно-боросиликатных основах, к которым затем добавлялись различные специальные окислы. Шоттом была также разработана специальная номенклатура оптических стекол, которая включала обозначение сорта стекла и порядковый номер. По обозначению сорта стекла можно было судить о его примерном составе.

Отличительной особенностью деятельности Шотта была его способность внедрять результаты лабораторных опытов в производственную практику. Ему также принадлежит идея использования регенеративной газовой печи Сименса для варки сортов стекла, требующих высоких температур плавки. Шоттом был разработан метод литья жидкого стекла в предварительно разогретые формы. Этот способ получил название "йенского метода".

О связях фирм Шотта и Цейсса очень красноречиво свидетельствовала записка, хранившаяся ранее в фондах Правления петербургских Обуховского и Ижорского заводов. В ней, в частности, говорится:

\* Цит. по журн.: Йенское обозрение, 1965, № 1, с. 77.

*"...завод Шотта находится в очень тесной зависимости от завода Цейсса, в очень же сравнительно непродолжительном времени он перейдет и в полную его собственность. Цейссе же, обладая огромными средствами, постарается в настоящее время монополизировать оптическую промышленность всего мира, одни оптические заводы скупая, с другими вступая в различные соглашения;*

*...Таким образом, Цейссе, имея в своих руках главный источник оптического стекла, может поставить и, несомненно, поставит не вошедшие с ним в соглашение заводы в безвыходное положение, лишив их сырого материала для производства" \*.*

Действительно, в июне 1891 г. стекольный завод Шотта и фирма Цейсса объединились в одно предприятие. Об этом свидетельствует следующий документ, подписанный Аббе и Цейссом 30 июня 1891 г.:

*"Нижеподписавшиеся сообщают всему персоналу оптической мастерской и завода по производству стекла следующее:*

*Во имя обеспечения делового руководства и уверенного экономического функционирования обоих предприятий, а также для того, чтобы обеспечить более надежную гарантию процветания предприятий в будущем, чем это*

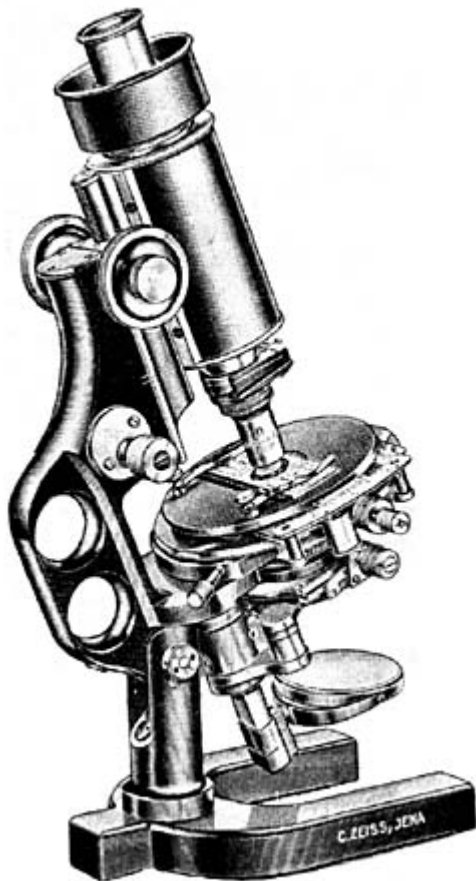
*\* Бахрах А. М. Из истории оптического приборостроения. М.: Машгиз, 1951, с. 177.*

*могли бы сделать частные предприниматели, мы, учитывая заинтересованность большого числа лиц в дальнейшем процветании данных предприятий, согласились отказаться от нашего двустороннего участия в деле и передать все связанные с предприятиями права фирмы «Карл Цейсс», а также фирмы «Шотт и товарищи» юридическому лицу - фонду Карла Цейсса в Йене, основанному в 1889 г. Цели и конституция фонда будут объяснены сотрудникам одновременно с обнаружением данного документа в объявлении великогерцогского Государственного министерства. В соответствии с вышесказанным мы с этого дня выходим из названных фирм, тогда как фонд Карла Цейсса в качестве теперешнего единственного владельца оптической мастерской и единственного совладельца завода по производству стекла вступает во все наши права и обязанности, в том числе права и обязанности, относящиеся к нашим сотрудникам. Покидая таким образом наши посты владельца, соответственно совладельца предприятий, мы бы хотели выразить сотрудникам обоих предприятий нашу сердечную благодарность за оказанное нам до сих пор доверие и за усердие, проявленное на службе общему делу. Одновременно мы желаем и надеемся, что наши коллеги с таким же доверием и усердием будут работать и при наших правопреемниках" \*.*

Начиная с 1883 г. Аббе провел серию опытов с объективами, составленными из комбинации линз, изготовленных из

\* Цит. по кн.: *Auerbach F. Ernst Abbe: Sein Leben, sein Wirken, seine Personlichkeit. Leipzig, 1918, S. 349-350.*

флюорита и новых сортов стекол. К середине 1886 г. Аббе создал объективы, в которых обеспечивалась хроматическая коррекция для многих цветов.



*Рис. 2.* Общий вид микроскопов, выпускаемых фирмой "Карл Цейсе" в конце XIX в.

Колоссальная вычислительная работа, необходимая для расчета новых оптических систем, побудила Аббе к привлечению новых специалистов - расчетчиков оптических систем. Среди них наиболее талантливым оказался Пауль Рудольф.

Аббе познакомился с Рудольфом в начале 1886 г. Поначалу Аббе предложил Рудольфу заняться расчетом апохроматических объективов микроскопов, а также объективов биноклей. Однако скоро по инициативе Рудольфа фирма Цейсса стала изготавливать и фотографические объективы. В 1891 г. был создан объектив-анастигмат "Протар", а в 1902 г. Рудольф рассчитал известный теперь во всем мире четырехлинзовый фотообъектив "Тессар".

Но Аббе вел не только научную работу. Он продолжал преподавать в Йенском университете. Например, в зимнем семестре 1897/98 г. Аббе читал курс лекций по дифракции света, читал по три часа подряд. Эти лекции привлекали широкую аудиторию слушателей, и их посещали выдающиеся ученые Германии (Ганс Бейгехольд, Отто Эппенштейн, Фридрих Мартенс, Оскар Ланге, Пауль Шмидт и др.).

К концу XIX в. фирма Цейсса стала выпускать практически все виды оптических приборов и инструментов, в том числе совершенно новые, построенные по расчетам и чертежам Аббе и его сотрудников. Так, например, начиная с 1893 г. фирма Цейсса начала выпускать призмный бинокль,

конструкция которого была предложена Аббе. Призменные бинокли Аббе завоевали в конце XIX в. огромную популярность.

Успехи, достигнутые Аббе в области технической оптики, вскоре стали известны во всем мире.



## Глава вторая

# Аббе и теория образования изображения в микроскопе

### Особенности развития микроскопии до Аббе

Изобретателями сложного микроскопа, состоящего из двух линз, считают обычно Г. и З. Янсенев, Галилея, Дреббеля. Точно известно, что в 1609-1610 гг. такой микроскоп был построен Г. Галилеем [1]. В первой половине XVII в. конструкция сложного микроскопа почти не претерпевала изменений. От очковых линз, используемых в качестве объективных стекол в микроскопах, переходили ко все более короткофокусным линзам. В 1646 г. А. Кирхер сделал первый обзор имеющихся в то время типов микроскопов [2].

В 1655 г. в Гааге выходит книга французского врача Пьера Бореля "О подлинном изобретателе телескопа, с краткой историей всякого рода увеличительных стекол", в которой публикуются документы, связанные с историей изобретения микроскопа. В числе этих документов было опубликовано письмо посла Соединенной Бельгии Виллема Бореля врачу Людовика XIV Пьеру Борелю, датированное 9 июля 1655 г.:

*"Миддельбург, главный город Зеландии, моя родина; поблизости от дома, где я родился, на Зеленой площади, находится Новая церковь, у стен которой расположено*

*несколько довольно низеньких домишек; в одном из них, около Западных Монетных ворот, жил в 1591 году (когда я родился) некий мастер очков по имени Ганс, а жену его звали Мария, который, помимо двух дочерей, имел сына по имени Захарий, коего я знал весьма близко, так как он, будучи мальчиком, постоянно бывал у меня, ибо мы были близкими соседями, и мы вместе играли с самого раннего возраста, и я также, будучи мальчиком, частенько бывал в их мастерской. Этот-то Ганс, т.е. Иоганн, с сыном своим Захарием изобрели, как мне часто приходилось слышать, первые микроскопы, которые они поднесли принцу Морицу, правителю и верховному командующему войсками Соединенной Бельгии, и получили какую-то награду. Подобный же микроскоп был ими впоследствии поднесен герцогу Альберту Австрийскому, верховному правителю королевства Бельгии.*

*Когда я в 1619 г. был послом в Англии, Корнелий Дреббель из Алькмара в Голландии, муж, сведущий во многих тайнах природы, находившийся там на службе у короля Иакова в качестве математика и близко мне знакомый, показывал мне тот самый инструмент, который эрцгерцог передал в дар этому Дреббелю, а именно микроскоп того Захария, и он не был (как их в настоящее время показывают) с короткой трубкой, но почти полтора фута длиною, а сама труба его, шириною в два пальца в диаметре, была сделана из позолоченной меди и укреплена на трех медных дельфинах, в свою очередь опирающихся на круглое основание из черного дерева, и этот круг поддерживал положенную на него всякую мелочь или что-либо весьма*

*малое, каковые предметы мы рассматриваем сверху, наблюдая их в увеличенных почти до чудесных размеров форме..." [3].*

Экземпляр микроскопа Захария Янсена, аналогичный тому, который упоминается в этом письме, хранится в музее г. Миддельбурга. По своей конструкции он состоит из трех грубо сделанных трубок из железа, входящих друг в друга. В качестве линз используются очковые стекла.

Наиболее интересный факт, который можно извлечь из приведенного выше письма Бореля, - описание микроскопа, который он видел у Дреббеля в Лондоне в 1619 г. В связи с этим возникает вопрос: а не является ли Дреббель изобретателем сложного микроскопа? Именно такого мнения придерживается Хр. Гюйгенс в написанной им "Диоптрике". Того же мнения придерживается и член Петербургской академии наук А.Н. Гришов.

Приведенные выше факты говорят о том, что двухлинзовый (сложный) микроскоп с двумя выпуклыми линзами (объектив и окуляр) появляется впервые в Англии или Голландии в 1617-1619 гг. При этом весьма вероятно, что К. Дреббель изготавливал микроскопы именно в этот период времени. Однако не известно, является ли сам Дреббель изобретателем микроскопа.

Известный историк микроскопостроения И. Гартинг придерживается версии случайного изобретения микроскопа:

*"Мастер, шлифуя линзы и добиваясь все большей точности шлифовки, рассматривал одну линзу при помощи другой, как это и сейчас делают мастера-оптики. При этом могло быть случайно обнаружено, что пара линз, определенным образом расположенных друг относительно друга, дает большее увеличение, чем одиночная линза" [4].*

В числе первых изобретателей сложного микроскопа называется Г. Галилей, который изобрел раздвижной телескоп. В конце 1609 - начале 1610 г. Галилей обнаружил, что его зрительная труба в раздвинутом состоянии позволяет сильно увеличивать мелкие предметы.

*"Возможность изменять длину трубы, - отмечает С.И. Вавилов, - понадобилась Галилею не только для установки по глазу и портативности. Манипулируя выпуклой и вогнутой линзами, Галилей, по-видимому, еще в 1609-1610 гг. заметил, что при изменении расстояния между линзами можно рассматривать в увеличенном виде не только удаленные предметы, но и близкие. Иными словами, та же система из вогнутой и выпуклой линз может давать и телескоп, и микроскоп при вариации расстояния между линзами" [5].*

В своем произведении "Пробирщик", опубликованном Галилеем в 1623 г., он ставит вопрос о том, как расстояние от зрительной трубы до наблюдаемых предметов влияет на их увеличение:

*"Если приближаться на расстояния совсем малые, - в четыре шага, в два, в один, в половину, то изображение мутнеет и темнеет и для отчетливого и ясного наблюдения телескоп надо удлинять. Этому удлинению соответствует*

*большее увеличение. При этом увеличение зависит только от удлинения трубы, а не от приближения предмета" [6].*

Первое упоминание о микроскопе Галилея встречается в сочинении его ученика Джона Уоддерборна (1610):

*"Несколько дней назад я слышал, как сам автор Галилей рассказывал Сиятельному Синьору Кремоне различные вещи и, между прочим, каким способом при помощи своей перспективы (зрительной трубы. - **В.Г.**) он прекрасно различает органы движения и чувства мелких животных" [7].*

Биограф Галилея Д. Вивиани также указывает на изобретение Галилеем микроскопа:

*"Изобретение телескопа привело великого мужа к изобретению микроскопа... В 1612 г. он послал один свой микроскоп польскому королю Казимиру".*

Факт изобретения Галилеем микроскопа подтверждает каноник Жан Тард, который, путешествуя в 1614 г. по Италии, посетил Галилея:

*"Галилей сообщил мне, - писал Ж. Тард, - что труба зрительного инструмента для наблюдения звезд имеет в длину не более двух футов, но, чтобы видеть объекты, которые находятся очень близко и которые мы не в состоянии рассмотреть по причине их крайней малости, необходимо, чтобы труба имела в длину два или три брасса; он рассказал мне, что с помощью этой длинной трубы он рассматривал двух мух, которые кажутся столь большими, как ягненок..." [8].*

Таким образом, Галилей в 1609-1610 гг. создал свою конструкцию сложного микроскопа, состоящего из положительной и отрицательной линз. К 1624 г. микроскоп

Галилея получает некоторое усовершенствование: он становится короче и для его изготовления Галилей применяет более короткофокусные линзы. Об этом сообщается в письме, написанном 11 мая 1624 г. Фабером в адрес Федерико Чези:

*"Вчера я встретился с нашим синьором Галилеем, проживающим у церкви Магдалины. Он передал прекраснейший микроскоп синьору кардиналу Цолеру для герцога Баварского. Я сам видел муху, показанную мне синьором Галилеем. Я был поражен и сказал синьору Галилею, что он новый творец, так как показывает вещи, о которых не знали, что они были созданы" [9].*

Именно такой микроскоп Галилей посылает 23 сентября 1624 г. князю Федерико Чези, основателю итальянской "Академии зорких", с сопроводительным письмом следующего содержания:

*"Посылаю Вашему Превосходительству микроскоп для рассмотрения вблизи мельчайших предметов. Надеюсь, что вы найдете в этом также немалое удовольствие, как и я. Посылаю с запозданием, так как раньше не удавалось его довести до совершенства вследствие трудности хорошей обработки стекол. Предмет прикрепляется на подвижный круг, находящийся внизу; для того, чтобы видеть все, его надо двигать, ибо глазом видна только малая часть. Расстояние между линзой и предметом должно быть точнейшим, поэтому при рассматривании предметов, имеющих рельеф, нужно иметь возможность приближать и смещать стекла соответственно тому, какая часть рассматривается. Поэтому трубочка сделана подвижной на своей ножке или проводнике, как хотелось бы это*

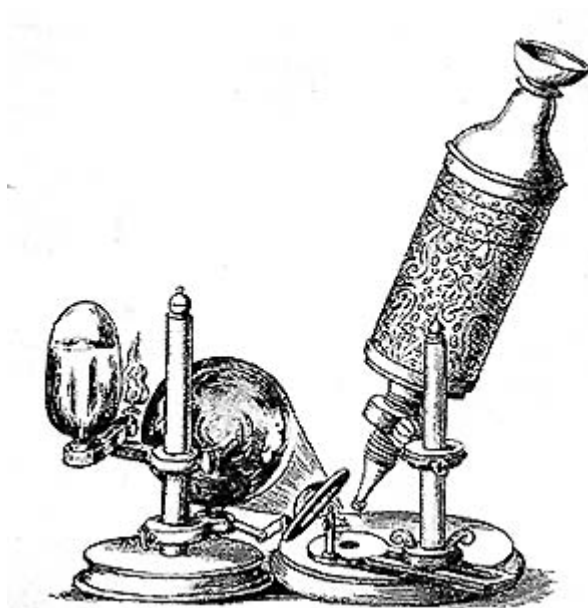
*назвать. Инструментом следует пользоваться на очень ясном и прозрачном воздухе, а лучше прямо на солнце, так, чтобы предмет был хорошо освещен. Я наблюдал очень много зверушек с бесконечным восхищением... В целом здесь можно без конца созерцать величие природы, сколь тонко она работает и с коей несказанной тщательностью" [10].*

Начиная примерно с 1624 г. сложный микроскоп начинает применяться в качестве инструмента для научных исследований. Так, в 1625 г. Франческо Стеллутти сообщает в своей книге по микроскопии об использовании микроскопа Галилея в анатомической практике.

В Музее истории науки во Флоренции хранятся два микроскопа, изготовление которых приписывают Галилею. Предполагают, что оба они принадлежали "Академии зорких". Механические части обоих микроскопов выполнены из меди. В связи со сложностью и совершенством механических частей этих микроскопов некоторые исследователи считают, что они более позднего производства. Подтверждает это и большое их сходство с микроскопами Кампани, которые изготавливались в 70-80-х годах XVII в.

Таким образом, первоначальным типом сложного микроскопа был двухлинзовый микроскоп, состоящий из двояковыпуклого объектива и двояковогнутого окуляра (микроскоп Галилея), а также микроскоп Дреббеля, состоящий из двояковыпуклого объектива и двояко- или плосковыпуклого окуляра. Последний тип микроскопа

является родоначальником современных сложных микроскопов.



*Рис. 3. Микроскоп Р. Гука (1663 г.)*

До 60-х годов XVII в. микроскоп Дреббеля не претерпел каких-либо существенных изменений. Первые принципиальные изменения в конструкцию и оптическую схему этого микроскопа были внесены английским физиком Робертом Гуком около 1663 г. Отличительной особенностью микроскопа Гука (рис. 3) являлось введение третьей линзы, получившей в дальнейшем название полевой линзы, или коллектива. Последний располагался между линзами



объектива и окуляра. Введение коллектива в микроскоп увеличивало его линейное поле. Микроскоп Гука приобрел большую популярность, и большинство микроскопов конца XVII и первой половины XVIII в. строились по этой схеме. Большое распространение получили микроскопы гуковского типа, изготавливаемые сначала Джоном Маршаллом (около 1693 г.) и позднее Эдмундом Кульпепером (около 1730 г.). Увеличение этих микроскопов составляло от 40х до 140х. В 70-х годах XVIII в. микроскоп по схеме Гука комплектовался набором объективов с разными фокусными расстояниями, что позволяло менять увеличение микроскопа в нужных пределах. Сферическая и хроматическая аберрации в указанных микроскопах достигали значительной величины и вносили существенные искажения в изображения.

Оригинальную конструкцию микроскопа гуковского типа предложил в 1691 г. Бонани. Существенной особенностью его было горизонтальное расположение тубуса микроскопа и возможность рассматривать прозрачные объекты в проходящем свете.

Важное усовершенствование микроскопа Гука было сделано немецким оптиком Гертелем в 1716 г. Гертель ввел в конструкцию микроскопа вращающийся предметный столик и зеркало подсветки, помещенное под этим столиком. Это привело к значительному улучшению освещения объекта и, следовательно, к получению лучшего изображения при рассматривании прозрачных объектов в проходящем свете. Однако только в 30-х годах XVIII в. такие микроскопы

получили широкое распространение. Дальнейшее улучшение качества изображения микроскопа нужно было искать в исправлении сферической и хроматической аберраций [11].

В 1784 г. петербургский академик Ф.Т.У. Эпинус на основе теоретических исследований Л. Эйлера рассчитал и изготовил первый в мире ахроматический микроскоп. Сообщение об этом изобретении было сделано Эпинусом на заседании Петербургской академии наук 8 апреля 1784 г. Более совершенная конструкция этого микроскопа была изготовлена уже после смерти Эпинуса, в 1808 г., немецким мастером-оптиком И.Г. Тидеманом в Штуттгарте. Этот уникальный инструмент, являющийся родоначальником ахроматических микроскопов, хранится в Политехническом музее в Москве.

В 1811 г. Фраунгофер выпустил свой ахроматический микроскоп, дающий увеличение до 120 раз. Разрешающая способность этого инструмента составляла около 3 мкм. Конструктивно объектив был выполнен из двух линз, разделенных небольшим воздушным промежутком.

Идея создания ахроматического объектива микроскопа из нескольких свинчивающихся линз принадлежит французскому оптику Селлингу, который в 1824 г. представил Парижской академии наук микроскоп с описанной выше конструкцией объектива, имеющей хорошую абберационную коррекцию.

Итальянский физик Д.Б. Амичи в 1827 г. сконструировал горизонтальный ахроматический микроскоп. Сферическая aberrация в этом микроскопе была значительно ослаблена за счет того, что объектив был помещен здесь плоской поверхностью к объекту. Разрешающая способность микроскопа - 0,5 мкм. В середине 40-х годов XIX в. Амичи сконструировал иммерсионный объектив. Он помещал между покровным стеклом микроскопа и свободной поверхностью нижней линзы объектива жидкость (воду, глицерин, маковое масло). Благодаря этому удалось значительно ослабить отражение света с поверхности объектива. Применение иммерсионных объективов позволило увеличить разрешающую способность микроскопа почти в полтора раза.

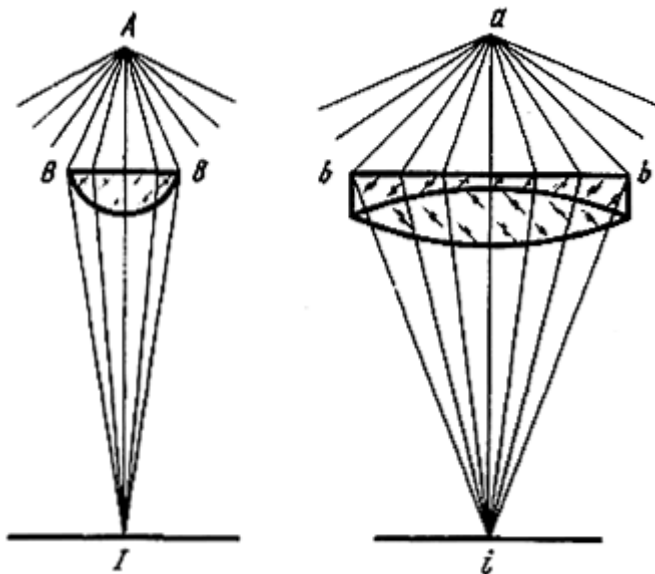
С 1828 г. начинает выпускать свои микроскопы венский оптик Г.С. Плессл. Эти микроскопы имели две отличительные особенности: в качестве штатива использовалась складывающаяся тренога, а ахроматические объективы можно было свинчивать из отдельных ахроматических пар в произвольном порядке. Увеличение этих микроскопов достигало 1500 раз. Наряду с микроскопами Ч. Шевалье и Ф. Шика, микроскопы Плесля были лучшими микроскопами первой половины XIX в.

Почти одновременно с фирмой Г.С. Плесля в Берлине возникает фирма Ф. Шика и Л. Пистора, которая вскоре разделяется на две самостоятельные фирмы "Шик" и "Пистор". Характеризуя качество изготавливаемых ими микроскопов, известный немецкий натуралист

Х.Г. Эренберг в 1832 г. писал: *"Резкость и увеличение в микроскопах Шика превосходны. Лучшими современными микроскопами являются микроскопы Шевалье, Г.С. Плесля и Ф. Шика. Их преимущества основаны на применении открытия Селлинга"* [12]. Увеличение микроскопов Шика достигает 2400 за счет двухлинзовых окуляров.

Основной задачей оптиков XVII-XVIII вв. было создание микроскопов с максимально большим увеличением. Известно, что увеличение микроскопа возрастает с уменьшением фокусного расстояния его объектива. По этой причине оптики XVII-XVIII вв. старались использовать в своих микроскопах короткофокусные объективы. Это порождало определенные трудности, связанные с тем, что в короткофокусных объективах абберации достигали большой величины и с ними было трудно бороться. Если бы удалось устранить эти абберации, то, по мнению микроскопистов начала XIX в., разрешающая способность микроскопа зависела бы только от его увеличения.

В 1829 г. английский физик Горинг предложил различать определяющую и проникающую разрешающую способность микроскопа. При этом, согласно Горингу, определяющая способность характеризовала возможность различать с помощью микроскопа внешние контуры объекта наблюдения, а проникающая способность - его "внутреннее" строение (прожилки на крыльях стрекоз, тончайший рисунок на крыльях бабочек и т.п.). Горинг считал, что проникающая способность существенно зависит от увеличения микроскопа.



**Рис. 4.** К определению отверстия угла

Для более ясного понимания тех представлений, которые Горинг вкладывал в термин "отверстный угол", приведем выдержку из книги, написанной его ближайшим сотрудником Причардом в 1842 г.:

*"Пусть  $A$  и  $a$  (рис. 4) представляют два объекта, схожих во всех отношениях; возьмем два микроскопа равной увеличивающей силы, чтобы рассмотреть их. Предположим, что мы будем рассматривать небольшую часть поверхности  $A$  или  $a$ , которая имеет очень тонкое строение. По хорошо известному закону света, от данного*

участка во всех направлениях отходят лучи в виде прямых линий, как это изображено на рисунке. Предположим, что **ВВ** и **bb** два объектива равной фокусной длины; первый - простая линза лучшей конструкции, какие употреблялись в старых сложных микроскопах; вторая - система новейшей формы, оканчивающаяся ахроматической комбинацией. Эти объективы дадут соответствующие изображения в **I** и **i**, имеющие одинаковые размеры. Но если число лучей, исходящих из **A**, падающих на простую линзу **ВВ** и собирающихся в **I**, будет мало для достаточного раздражения глаза, какая-нибудь пора, полоска или другая подробность в **A** будет невидимой; в то же время, вследствие увеличения апертуры ахроматической линзы **bb**, больше света может упасть на нее, пройти и собраться в **i**, а поэтому та же подробность в **a** будет ясно представлена в **i**, и глаз, получивши сильное воздействие вследствие увеличения света, делается в высокой степени чувствительным к ней. Углы **ВAV** и **bab** представляют отверстия углы соответствующих объективов; количество света, собранное и переданное через их посредство, будет пропорционально квадратам **ВВ** и **bb** при равной фокусной длине. Таким образом, сила микроскопа или способность его делать видимой структуру объекта зависит от отверстия угла объектива, а не от одной увеличивающей силы" [13].

Горинг экспериментальным путем доказал, что проникающая способность микроскопа зависит от величины его апертуры. С этого момента фокусное расстояние объектива микроскопа и величина его апертуры стали считаться важнейшими показателями качества этого

инструмента. Идеи Горинга оказали заметное влияние на конструкции микроскопов. Начиная с 30-х годов XIX в. намечается заметная тенденция к увеличению апертуры микроскопов. Так, английский оптик Росс изготовил в 1832 г. объектив микроскопа с апертурой в  $14^\circ$ ; в 1834 г. апертура его объектива была уже  $55^\circ$ , а в 1842 г. -  $74^\circ$ . Вслед за ним итальянский оптик Амичи достиг в 1844 г. апертуры в  $112^\circ$ . К середине XIX в. американский оптик Спенсер получил рекордную апертуру объектива микроскопа -  $172^\circ$ . Однако объективы со столь большой апертурой имели значительные аберрации и по этой причине были непригодны для микроскопических наблюдений.

## **Приложение теории к объяснению образования изображения в микроскопе**

В 1865 г. вышла в свет книга Негели и Швенденера "Микроскоп" [14], в которой авторы пытались применить законы геометрической оптики к конструированию микроскопа. В книге речь шла прежде всего об определении "проникающей" и "определяющей" способностях микроскопа, введенных Горингом. Согласно Негели и Швенденеру, стремление создать объективы с большими апертурами не было оправдано. Но на практике дело обстояло иначе: объективы с большой апертурой работали лучше, чем это должно было быть по теории Негели и Швенденера. Таким образом, одна геометрическая оптика не могла объяснить образование изображения в микроскопе. Именно теория Негели послужила исходным пунктом для

работ Аббе и привела его впоследствии к замечательным открытиям.

В 1873 и 1874 гг. появились две работы, принадлежащие перу выдающихся немецких оптиков Аббе и Гельмгольца. Эти ученые пришли к выводу о недостаточности теории геометрической оптики для объяснения возникновения изображения в микроскопе и необходимости привлечения физической оптики для объяснения этого явления.

Толчком к исследованиям Гельмгольца послужила работа немецкого микроскописта Листинга [15] (1869 г.), в которой он предлагал конструкцию микроскопа, позволяющего, по его мнению, получать увеличение до 32000 раз и более. В связи с этим возник вопрос: можно ли сколько угодно повышать "мощность" микроскопа? Этот вопрос был поставлен Гельмгольцем в 1874 г. в его статье "Теоретическая граница способности микроскопа" [16]. Гельмголец показал, что предел разрешающей способности микроскопа ограничивают два явления: 1 - уменьшение яркости изображения; 2 - явление дифракции. С ростом увеличения падает яркость изображения в микроскопе и возрастает дифракция. Оба эти явления наблюдаются в любом микроскопе. Это закон, справедливый для всех оптических систем.



## Теория Аббе образования изображения в микроскопе

Свои исследования в области улучшения конструкции микроскопов Аббе опубликовал в 1873 г. [17]. Прежде всего Аббе показал, какую роль в образовании микроскопического изображения играют объектив и окуляр этого оптического инструмента. Далее Аббе дал классификацию аберраций, искажающих изображение при наблюдении через микроскоп. Однако самой большой заслугой Аббе было установление тех пределов, которые ставит перед конструкторами оптических систем волновая природа света.

К сожалению, Аббе не опубликовал большинство своих исследований, поэтому его работы по теории микроскопа дошли до нас в основном в изложении его учеников. Так, например, университетский курс "Теория оптических изображений в пределах геометрической оптики", который вел Аббе, был изложен его учеником С. Чапским в его "Теории оптических инструментов по Аббе" [18]. Работа Аббе "Теория дифракции в приложении к микроскопу" долгое время оставалась неопубликованной и только в начале XX в. увидела свет в пятитомном собрании сочинений Аббе.

Аббе удалось совершенно по-новому, с позиций волновой оптики, объяснить действие простой линзы. Он показал, что изображение предмета строится линзой сложным образом. Сначала в плоскости, перпендикулярной оси линзы,

возникает интерференционная картина. При этом упомянутая плоскость играет роль своеобразной дифракционной решетки. Световой поток, проходящий от линзы через эту решетку, взаимодействует с решеткой и только после этого на небольшом расстоянии от плоскости решетки появляется изображение, которое можно увидеть на матовом стекле или сфотографировать. На языке математики вышеописанное называется фурье-преобразованием, то есть линза выполняет функцию фурье-преобразователя [19]. Но это построение изображения, созданного одной-единственной линзой, а как возникает изображение в микроскопе, который содержит много линз?

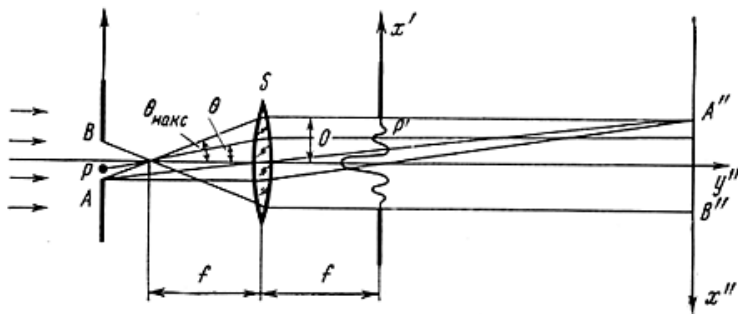


Рис. 5. Схема образования изображения в микроскопе по Аббе

$x'$  — фокальная плоскость;  $x''$  — сопряженная плоскость, в которой расположено оптическое изображение  $A''B''$ , образованное отклоненным пучком лучей

Согласно теории Аббе изображение в микроскопе получается двумя последовательными этапами:

1) образованием дифракционной картины в фокальной плоскости  $x'$  по методу Й. Фраунгофера (рис. 5);

2) образованием из отклоненных пучков оптического изображения  $A'' B''$  в сопряженной плоскости  $x''$ .

В схеме, изображенной на рис. 5, в роли предмета  $AB$  выступает длинная узкая щель, направленная вдоль оси  $y$ . По этой причине амплитуда в дифракционной картине, возникающей в плоскости  $x'$  будет изменяться только вдоль оси  $x$ .

Для отклоненных линзой лучей примем такие координаты  $\xi, \eta$  точки наблюдения  $p$ , чтобы  $\xi = kx' / f$ , где  $k = 2\pi / \lambda$ ;  $x' = f \sin \theta$ .

В этом случае интеграл Фурье будет иметь вид

$$u_0(\xi, \eta) = V(x') = \int_{-\infty}^{+\infty} V(x) \exp\left(-i \frac{k}{f} xx'\right) dx.$$

Соответственно для распределения амплитуды в плоскости объекта будем иметь

$$V(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} V'(x') \exp\left(i \frac{k}{f} xx'\right) dx'.$$

В соответствии с рис. 5 распределение амплитуды в плоскости изображения  $A''B''$  обозначим через  $V''(x'')$ . Если это изображение будет увеличено в  $M$  раз, то интеграл Фурье примет вид [19]

$$V''(x'') = \int_{-\infty}^{+\infty} V'(x') \exp\left(i \frac{k}{fM} x' x''\right) dx'.$$

В реальной ситуации изображение в микроскопе образуется не всеми отклоненными пучками лучей, поэтому пределы интегрирования будут находиться в интервале  $x'_1 - x'_2$  и синтез изображения будет осуществляться только за счет прошедших через объектив микроскопа пучков лучей. Самое главное, что в этом случае изображение уже не будет являться точной копией объекта (предмета) наблюдения. Это один из главных выводов теории образования изображения в микроскопе (по Аббе).

Согласно Аббе, разрешающая способность микроскопа заврхсит от его увеличения, величины числовой апертуры объектива и, наконец, от геометрического совершенства изображения (т.е. от степени исправления аберраций).

Произведение синуса половины апертуры объектива микроскопа ( $u$  на показатель преломления ( $n$ ) среды, лежащей между объектом наблюдения и объективом, Аббе назвал "числовой апертурой" ( $A$ ):

$$A = n \sin\left(\frac{u}{2}\right).$$

Согласно теории Аббе, числовая апертура определяет ряд важнейших свойств микроскопа: яркость изображения, "проникающую" способность, "отображающую" способность (т.е. степень сходства изображения с предметом). Чем больше числовая апертура, тем более мелкие подробности объекта наблюдения можно рассмотреть в микроскоп.

Характеризуя роль творчества Аббе, академик Д.С. Рождественский писал:

*"Аббе впервые ясно показал, что каждой остроте инструмента соответствует свой предел возможности. Нельзя грубыми пальцами обрабатывать даже мягкий материал с точностью до сотой миллиметра, для этого нужны тонкие инструменты. Тончайший же из всех инструментов - это длина волны. Нельзя видеть объекты меньше полудлины волны - утверждает дифракционная теория Аббе, - и нельзя получить изображение меньше полудлины волны, т.е. меньше 1/4 микрона... Таким образом, гением Аббе установлено сознательное творчество в микроскопии и достигнуты пределы возможного" [20].*

## **Опыты Аббе, подтверждающие его теорию микроскопа, и критика ее современниками**

Правильность своей теории образования изображения в микроскопе Аббе подтвердил проведенными им с этой целью опытами. Следует отметить, что все эти опыты Аббе

проводил только с поглощающими решетками, используемыми им в качестве объектов наблюдения. Это было вполне логично, так как в качестве объектов для этих опытов могут служить только правильные геометрические структуры, способные давать четкие дифракционные картины. Естественные объекты, удовлетворяющие поставленным требованиям, встречаются редко. В первую очередь к ним относятся диатомовые водоросли.

Аббе показал, что действительное изображение предмета в передней фокальной плоскости окуляра микроскопа получается с помощью объектива, и при этом проходящий через конденсор и падающий на объект наблюдения свет разбивается на ряд дифракционных пучков - вследствие тонкой структуры объекта наблюдения. Эти пучки дают дифракционную картину в задней фокальной плоскости объектива. Эту картину можно наблюдать невооруженным глазом, если смотреть в микроскоп без окуляра.

Аббе показал, что изображение получается подобным во всех деталях предмету только тогда, когда проходящие через объектив микроскопа дифракционные пучки света будут иметь достаточную интенсивность. В случае если микроскоп имеет небольшую апертуру и поэтому не все дифракционные пучки попадают в него, то изображение получается не подобным предмету.

Экспериментальное подтверждение этого явления можно получить при помощи дифракционного прибора Аббе, состоящего из пластинки, покрытой тонким слоем серебра,

на которую нанесено несколько штрихов. Эти штрихи служат объектом при рассматривании в микроскоп. С помощью такого прибора можно очень наглядно показать, какое влияние имеет выпадение некоторых дифракционных пучков из изображения. Если, например, задиафрагмировать с каждой стороны один, три, пять и т.д. дифракционных пучков, то в изображении получим систему штрихов с вдвое меньшими промежутками. Тем самым в изображении, которое дает микроскоп, мы насчитаем вдвое больше штрихов, чем их имеется в предмете.

Опыты Аббе по теории вторичного изображения состояли в основном в последовательном изучении зависимости между первичным интерференционным изображением источника света и известной структурой объекта, а затем в исследовании зависимости вторичного интерференционного изображения от первичного.

При проведении своих опытов Аббе использовал микроскоп, объектив которого имел апертуру 0,17, а собственное увеличение 6-10 крат. Результаты проведенных опытов лучше всего передать словами самого Аббе:

*"Различные структуры дают всегда одинаковое изображение в микроскопе, если искусственно устранены различия в дифракционном эффекте, вызываемом ими в микроскопе; ... структурный рисунок, появляющийся в поле зрения микроскопа, во всех подробностях как соответствующих объекту, так и не соответствующих ему, являются не чем иным, как результатом*

*интерференционного процесса, происходящего при встрече всех действующих пучков лучей" [21].*

И далее:

*"Ни в каком микроскопе не могут быть воспроизведены детали объекта (или признаки имеющейся в действительности структуры), если они расположены так близко друг к другу, что даже первый световой пучок, обусловленный дифракцией, не попадает в объектив одновременно с неотклоненным пучком" [22].*

Строгую математическую теорию образования изображения в микроскопе Аббе читал в 1887 г. в Йенском университете. Эти лекции законспектировал Отто Луммер и впоследствии подготовил к печати совместно с Фрицем Рейхе. Они были изданы в 1910 г. под названием "Учение об образовании изображения в микроскопе по Аббе" [23].

Отто Луммер был блестящим физиком. Он внес существенный вклад в развитие теории теплового излучения, читал курс лекций по специальным проблемам оптики. Совместно с Герке Луммер ввел в технику спектроскопии плоскопараллельные стеклянные пластинки. Очень интересна оценка, которую дал Луммер лекциям Аббе:

*"Аббе редко доводил до конца свой теоретический курс лекций. Тем больше была его радость на этот раз, когда он получил возможность ознакомить со своими теориями круг лиц, разбирающихся в этих вопросах. Кроме меня этот курс прослушали профессор Винкельман, доктор Чапский,*



доктор Рудольф и кандидат философии Штраубель, являющийся ныне преемником Аббе.

...Эта зима 1887 г. относится к лучшим моим воспоминаниям. Нам посчастливилось заглянуть в мастерскую умственного труда нашего величайшего мастера теоретической и практической физики и своими глазами наблюдать процесс его творческой деятельности. И хотя теория Аббе об образовании изображения в микроскопе была разработана еще задолго до этого времени и сделанные из нее выводы уже принесли свои плоды на заводе «Карл Цейсс», лекции на эту тему он начал читать, собственно, лишь в эти годы... Нелегко было следить за ходом рассуждений Аббе, часто он сам вносил поправки, отказываясь от приведенного им же доказательства и заменял его более простым и доступным. Но именно в этом и состояла привлекательность лекционного курса, которая еще больше повышалась благодаря дискуссиям во время воскресных прогулок по живописным окрестностям Йены. Существует ли дифракция в обратном направлении, т.е. может ли световой пучок, попадающий в очень узкую щель, отклониться обратно, в сторону источника света? Этот и подобный ему вопросы рьяно обсуждались... Рука об руку с чисто теоретическими лекциями шло ознакомление с практической оптикой и экспериментальными подтверждениями теории Аббе об образовании изображений от несамосветящихся объектов. Доктор Чапский знакомил нас с геометрической оптикой, теорией Аббе об ограничении пучков лучей в оптических приборах и с

*расчетом объективов по приближенным формулам Аббе. Аббе сам лично демонстрировал неподobie изображения микрообъектов при искусственном диафрагмировании. Это было великопепное время!" [24].*

Из этих строк мы узнаем, что на лекциях Аббе, читанных им в зимний семестр 1887/88 г., присутствовали: доктор Винкельман - ординарный профессор физики Йенского университета, доктор Чапский - ученик и сподвижник Аббе, продолжатель его трудов; доктор Бёгехольд, создавший впоследствии (в 1938 г.) высококачественные планохроматические и планапохроматические объективы. Один из слушателей лекций Аббе, доктор Штраубель стал впоследствии преподавателем Йенского университета. Аббе назначил его своим преемником и соруководителем фирмы "Карл Цейсс".

Теория Аббе образования изображения в микроскопе была воспринята его современниками по-разному.

Первая критика теории Аббе появилась в 1880 г. и принадлежала довольно известному в то время гистологу Альтману [25]. Желая построить общую теорию оптических инструментов, Альтман пытался дать свое толкование разрешающей способности оптических приборов и выяснить вопрос о влиянии на нее аберраций и явления дифракции.

Альтман провел серию опытов с объективами микроскопов, обладающих разными оптическими характеристиками. В результате этих опытов он сделал вывод о том, что

разрешающая способность объективов микроскопов определяется величиной дифракции, а сферическая и хроматическая аберрации сказываются только на резкости и ясности отдельных элементов микроскопического изображения.

Критически оценивая основные положения теории Аббе, Альтман писал: *"Подробности, меньшие 0,01 мм, изображаются при помощи дифракционных пучков"*. По мнению Альтмана, качество микроскопического изображения зависело в основном от оптических свойств наблюдаемых в микроскоп объектов (показателей преломления их отдельных частей, различия в цветовой окраске, степени их прозрачности и т.п.).

Ответ Аббе Альтману не заставил себя долго ждать и был написан им в очень эмоциональной форме [26]. Он содержал в себе не только критику положений Альтмана, но и подробное разъяснение теории вторичного изображения в микроскопе. В полемике с Альтманом Аббе впервые дал понять, в чем состоит различие между изображениями самосветящихся и несамосветящихся объектов наблюдения.

Альтман не был удовлетворен ответом Аббе. В двух своих последующих статьях он отстаивал свою прежнюю точку зрения [27]. Но Аббе оставил эти статьи без внимания, полагая, видимо, что все и так ясно.

Однако на самом деле вопрос этот не был столь простым. В 1896 г. появилась работа лорда Рэлея "О теории оптических

изображений, специально в приложении к микроскопу" [28]. Теория разрешающей способности оптических инструментов Рэля базировалась на результатах работ английского астронома Г. Эри, который в первой половине XIX в. показал, что одиночная светящаяся точка (например, звезда) вследствие дифракции на границах зрачка изображается оптической системой в виде кружка рассеяния, состоящего из яркого ядра и окаймляющих его чередующихся темных и светлых колец. При этом освещенность светлых колец по мере удаления от центра существенно падает. Таким образом, оптическая система никогда не изображает точку в виде точки. С одной стороны, этому препятствуют aberrации оптической системы, а с другой - волновая природа света.

Осмысливая картину изображения двух близко расположенных точек, Д. Рэлей в 80-х годах XIX в. сделал вывод о том, что две равнояркие точки видны отдельно, если центр кружка Эри одной точки совпадает с первым минимумом второй точки. Этот вывод, известный как "критерий Рэля", давал возможность установить числовое значение разрешающей способности любой оптической системы. Из него вытекало, что угловое расстояние между изображениями двух равноярких точек, которые видны отдельно ( $\psi$ ), равно расстоянию от центра до первого максимума каждой точки:  $\psi = 1,22\lambda/D$  где  $\lambda$  - длина световой волны,  $D$  - диаметр входного зрачка.

С современной точки зрения, как метод Рэля, так и метод Аббе - правильны и не исключают, а, скорее, дополняют друг друга. Сначала предполагали, что анализ Аббе применим только к освещенным объектам, или, по современной терминологии, к изображениям в когерентном свете. Рэлей же наглядно продемонстрировал, что он применим и к самосветящимся объектам (т.е. для изображений в некогерентном свете). Рэлей также установил, что пределы разрешения для когерентного и некогерентного случаев отличаются в два раза. Самое важное в работах Рэля то, что он продемонстрировал применимость методологии Фурье для исследования качества оптического изображения.

## **Рассуждения Аббе о возможности повышения разрешающей способности микроскопа**

Первый путь, которым пошел Аббе, стремясь повысить разрешающую способность микроскопа, состоял в увеличении его апертуры.

Аббе рассуждал следующим образом. Предел разрешения микроскопа  $d$  определяется формулой

$$d \geq 0,5\lambda_0 / n \sin(u) = 0,5\lambda_0 / A,$$

где  $\lambda_0$  - длина волны в вакууме;  $n$  - показатель преломления среды, находящейся между наблюдаемым предметом и

объективом микроскопа;  $u$  - апертурный угол;  $A$  - числовая апертура объектива микроскопа.

Из формулы видно, что разрешающую способность микроскопа можно повысить за счет трех факторов: апертуры, показателя преломления и длины волны. Апертурный угол теоретически не может быть больше  $180^\circ$ . Практически же этот угол значительно меньше, так как невозможно поместить объект наблюдения на нулевом расстоянии от объектива. Кроме того, величина апертурного угла не ограничивается возможностью исправлять aberrации объективов с большими апертурными углами. Систематические упорные исследования Аббе в этом направлении очень скоро привели его к пределу на этом пути. Уже в 1873 г. он установил, что микроскоп в отношении величины апертурного угла настолько приблизился к достижимому пределу, что дальнейшие успехи на этом пути вряд ли были возможны.

В начале XX в. наметились некоторые сдвиги в решении этого вопроса. Для наблюдения частиц, размеры которых находятся за пределами разрешающей способности оптических микроскопов, австрийские физики Р. Зидентопф и Р. Зигмонди предложили в 1903 г. так называемый "метод темного поля", состоящий в сильном боковом освещении объекта таким образом, чтобы ни один луч, идущий от осветительного устройства, не попал в глаз наблюдателя. При этом освещенное тело, рассеивающее свет, наблюдатель видит в виде ярких точек на темном фоне. Микроскоп, в котором был реализован указанный принцип, получил

название ультрамикроскопа. На рис. 6 приведена схема щелевого ультрамикроскопа Зидентофа и Зигмонди.

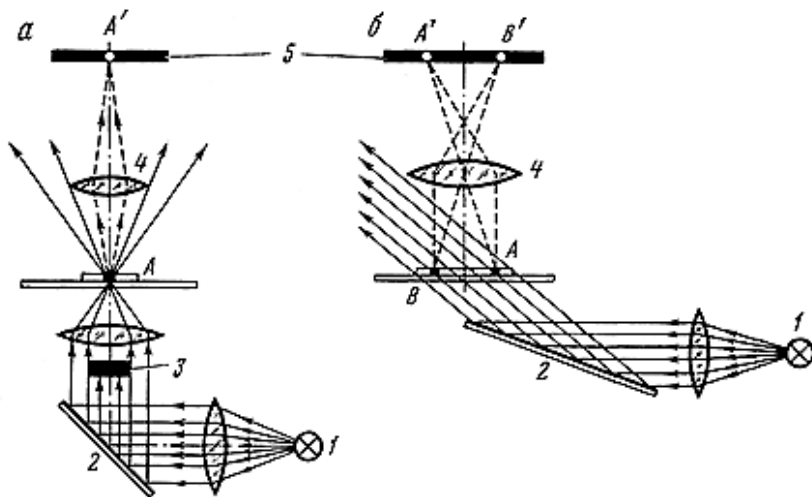


Рис. 6. Схема щелевого ультрамикроскопа Р. Зидентофа и Р. Зигмонди (1903 г.)

Образование темнопольного изображения: *a* — при прямом, *b* — при косом освещении объекта; 1 — осветитель; 2 — зеркало; 3 — затемняющая пластинка; 4 — объектив; 5 — темное поле

В 1913 г. в целях повышения апертуры объектива микроскопа, Зигмонди предложил конструкцию ультрамикроскопа, в котором осветительный и наблюдательный объективы касались друг друга. При этом наблюдения производились без кюветы, а раствор помещался непосредственно между объективами. В дальнейшем было обнаружено, что наблюдения по методу

темнового поля можно проводить и с обычным микроскопом, снабженным специальным конденсором.

Для наблюдения по методу темнового поля непрозрачных объектов был сконструирован осветитель, состоящий из конденсора, кольцевого плоского и параболического зеркал, направляющих лучи на объект наблюдения под большими углами и позволяющий увидеть светлые частицы на темном фоне. Весьма удачная конструкция ультрамикроскопа была разработана в 50-х годах XX в. советскими физиками Б.В. Дерягиным и Г.Я. Власенко.

Метод ультрамикроскопии дал возможность увидеть коллоидные частицы диаметром менее  $4 \times 10^{-6}$  мм. С помощью этого метода были выявлены основные закономерности броуновского движения, а также исследован процесс поглощения света коллоидами в жидкости.

Следующая идея Аббе в изыскании средств повышения разрешающей способности микроскопа была связана с повышением показателя преломления ( $n$ ) посредством применения иммерсионных объективов (пространство между наблюдаемым объектом и объективом заполнялось средой с более высоким показателем преломления, чем воздух). Однако для достижения желаемого результата объект наблюдения следовало также помещать в среду с более высоким показателем преломления. Последнее сильно ограничивало эффективность использования иммерсионного метода, так как часто не представляется возможным поместить наблюдаемый объект в среду с достаточно



высоким показателем преломления без повреждения самого объекта.

Тем не менее во второй половине XIX в. появляется целый ряд иммерсионных систем объективов, в которых пространство между предметом и объективом заполнено средой с показателем преломления, существенно большим единицы. В 60-х годах XIX в. иммерсионные системы были созданы немецкими оптиками Гартнаком и Мерцем. Следуя идее итальянского оптика Амичи, они помещали между объективом и покровным стеклом микроскопа жидкость (воду, глицерин, маковое масло). В своих воспоминаниях Гартинг дает следующую характеристику первым иммерсионным системам:

*"Гартнак в этой системе последовал примеру, данному Амичи в 1850 г., и поместил между покровным стеклом и свободной поверхностью нижней линзы тонкий слой воды... Так как вода сильнее преломляет, чем воздух, то благодаря этому значительно ослабляется, или даже совсем отпадает, отражение света с поверхности объектива. Поэтому в микроскоп попадает большее количество лучей, и, таким образом, тонкий слой воды производит то же самое действие, что и увеличение апертуры микроскопа. Это благоприятное действие сказывается преимущественно на краевых лучах, падающих наиболее косо... поэтому указанный слой должен повышать разрешающую способность микроскопа".*

В 1878 г. Аббе совместно со Стефенсоном изготовили масляный иммерсионный объектив. Они назвали его

объективом с гомогенной иммерсией. Этот объектив был рассчитан на применение кедрового масла и имел существенные преимущества перед объективом с водной иммерсией, созданным итальянским оптиком Амичи. 10 января 1879 г. на оптическом заводе в Йене Аббе сделал доклад о новом иммерсионном объективе и продемонстрировал его возможности.

Применяя иммерсионные системы, удалось достичь увеличения разрешающей способности микроскопа в 1,34 раза. О возможностях дальнейшего повышения разрешающей способности микроскопа Аббе говорил следующее:

*"Можно предполагать, что техника со временем изыщет оптически годные для изготовления объективов среды, показатели преломления которых будут значительно больше, чем у известных нам теперь сортов стекла; что могут быть изысканы также и жидкости со значительно более высоким показателем преломления, чем у известных в настоящее время. Все это может сделать иммерсионный метод более эффективным" [29].*

Исключительно интересны идеи Аббе, касающиеся повышения разрешающей способности микроскопа за счет уменьшения длины волны света, с помощью которого образуется изображение. Аббе писал:

*"Тем самым остается возможность в расширении пределов разрешающей способности микроскопов. При наблюдении с помощью белого света в образовании видимого глазом*

*изображения доминируют те лучи, которые обладают наибольшей интенсивностью в видимом спектре. Длина волны таких лучей, как правило, соответствует желто-зеленому цвету, т.е. может быть принята приблизительно равной 0,55 мкм. Более короткие волны, соответствующие синим лучам, позволяют вести наблюдение в монохроматическом свете с большим эффектом; полезность этого способа при наблюдении мельчайших деталей уже давно известна микроскопистам.*

*Еще благоприятнее становятся условия образования изображения при фотографической съемке объектов через микроскоп, так как при этом являются наиболее подходящими фиолетовые лучи с длиной волны, равной примерно 0,40 мкм. Многочисленными опытами установлено, что разрешающая сила объектива значительно выше в том случае, когда он используется для фотографии, по сравнению с тем случаем, когда оно применяется визуально. Фотографический снимок не только обнаруживает более тонкие детали, но и дает большую гарантию сходства изображения с материальным объектом, что является весьма ценным свойством микрофотографии для трудных условий наблюдения даже там, где речь идет не о пределе разрешения, а где подобие изображения объекту является в какой-то степени проблематичным.*

*Ничто не препятствует идти дальше в этом направлении и мыслить себе микроскопические наблюдения с помощью лучей, лежащих сколь угодно далеко за пределами видимого*

*спектра в ультрафиолетовой области. Хотя получаемые в этом случае изображения наблюдать непосредственно невозможно, зато их можно сделать видимыми с помощью флюоресцирующих веществ. Оптика при этом должна располагать для изготовления объективов материалами, которые были бы по меньшей мере столь же прозрачны для ультрафиолетовых лучей, что и горный хрусталь, и не имели его других свойств, исключая возможность использования его для этих целей; одновременно должны быть найдены среды для объектов и иммерсионные жидкости, прозрачные также и для ультрафиолетовых лучей. Это указание свидетельствует о том, насколько нужно оторваться от реального опыта, чтобы рассчитывать на существенные сдвиги в микроскопии с этой точки зрения" [30].*

Эти идеи Аббе о возможности использования ультрафиолетовых лучей для повышения разрешающей способности микроскопов были реализованы в 1904 г. в конструкции микроскопа, созданного сотрудниками фирмы "Карл Цейсс" Р. Келером и М. Рором. При разработке микроскопа, работающего в ультрафиолетовых лучах, конструкторы столкнулись с большими трудностями, связанными с изысканием оптических материалов, прозрачных в ультрафиолетовой области спектра, и созданием средств регистрации изображения в ультрафиолетовых лучах.

В качестве оптического материала линз для этих микроскопов оказались пригодными кварц и фтористый

литий. Для регистрации изображения были использованы фотографические пластинки. В дальнейшем методы наблюдения микроскопических объектов в ультрафиолетовых лучах были развиты в работах английских физиков Д. Бернарда, Л. Мартина и советского ученого Е.М. Брумберга.

В 1939 г. Е.М. Брумберг предложил оригинальный метод цветной трансформации, который давал возможность преобразовывать невидимое глазом ультрафиолетовое изображение в видимое. Это видимое изображение возникало в условных цветах, которые характеризовали распределение различных веществ в исследуемом объекте.

Применение метода цветной трансформации потребовало создания новых ахроматических объективов, способных работать в ультрафиолетовой области спектра. Такие объективы, выполненные по схеме зеркально-линзовых систем, были созданы советскими оптиками С.А. Гершгориним, Е.М. Брумбергом и П.Д. Радченко.

Микроскоп, созданный по системе Брумберга, был использован в 40-х годах XX в. для проведения металлографических и минералографических исследований. В 1946 г. с помощью таких приборов проводились исследования абсорбционных характеристик биологических объектов. Особенно большое применение микроскопия в ультрафиолетовых лучах получила при исследовании аминокислот, входящих в состав всех белковых соединений.

Большую помощь оказал этот метод наблюдений и при изучении состава молекул ДНК и РНК.

Возвращаясь к мыслям Аббе относительно расширения возможностей микроскопа как инструмента научного исследования, хочется вспомнить его слова, обращенные в будущее микроскопии:

*"Современная наука, - писал Аббе, - признает, что возможности нашего органа зрения ограничены самой природой света и эта граница не может быть превзойдена с помощью всего арсенала современного естествознания... Возможно, что человеческому разуму удастся подчинить себе такие процессы и силы, которые позволят совершенно другими путями преодолеть препятствия, которые нам кажутся сейчас непреодолимыми. Эту надежду разделяю и я. Однако я верю, что те приборы, которые помогут нам в нашем познании последних элементов материального мира в большей степени, чем современные микроскопы, не будут иметь с последними ничего общего, кроме названия" [31].*

Насколько пророческими оказались эти слова Аббе, мы поймем, обратившись к истории создания электронного микроскопа.

## **Рождение электронного микроскопа**

Как мы уже говорили, нельзя увидеть объекты меньше полудлины волны света, а значит и нельзя получить изображения этих объектов меньше  $1/4$  микрона. Именно волновые свойства света определяют предел разрешения в

микроскопе. Поэтому естественно было попытаться отказаться от фотонов и перейти к получению изображения с помощью потока электронов. Использование для этих целей электронов привело к возникновению в первой половине XX в. электронного микроскопа.

Успехи, достигнутые в начале XX в. в области теоретической физики, позволили сделать вывод о том, что распространение потока любых материальных частиц управляется волновыми законами, как это имеет место в случае светового потока. Согласно формуле, полученной Луи де Бройлем в 1923 г.,  $\lambda = h/mv$ , где  $\lambda$  - длина волны излучения,  $m$  - масса частицы,  $v$  - скорость частицы,  $h$  - постоянная Планка.

Согласно этой формуле, длина волны уменьшается с увеличением массы и скорости движения частиц. Однако даже для частиц с наименьшей известной массой - электронов, движущихся с умеренной скоростью, соответствующая длина волны очень мала. По этой причине вполне естественным было использовать электроны для увеличения разрешающей способностью оптических приборов.

Установив, как зависит показатель преломления волн от свойств среды, т.е. силовых полей, в которых движется электрон, можно рассчитать его движение по законам геометрической оптики. С другой стороны, можно рассчитывать движение электрона по обычным законам механики, зная силы, действующие на электрон. Еще в

1830 г. на это обстоятельство обратил внимание В. Гамильтон. Он показал, что уравнениям механики можно придать вид, вполне аналогичный уравнениям геометрической оптики.

Способы расчета траекторий электронов в электромагнитных полях, используются ли методы механики или геометрической оптики, позволяют установить условия, при которых электроны, вышедшие из какого-либо источника, соберутся вновь в некоторой точке. Совокупность электрических и магнитных полей, в которых должен двигаться электрон, чтобы мы могли получить стигматическое изображение, представляет собой "электронные линзы" (магнитные и электростатические), играющие в электронной оптике такую же роль, как обычные линзы в геометрической оптике. По этим причинам расчет электронного микроскопа может быть выполнен по законам геометрической оптики.

В конце XIX в. была обнаружена возможность фокусировки электронных пучков с помощью электрических и магнитных полей. Существенным шагом на пути к созданию электронного микроскопа явилось появление в 1924-1927 гг. двух работ, принадлежащих перу французского физика Луи де Бройля и немецкого ученого Г. Буша. В первой из них было показано, что электроны имеют волновую природу, а согласно второй - любое неоднородное магнитное поле, имеющее вращательную симметрию, действует на электронные лучи так же, как на световые лучи действует оптическая линза. В 20-х годах XX в. появился термин



"электронная оптика", введенный немецким физиком Э. Брюхе.

К началу 30-х годов XX в. немецкие ученые М. Кнолль и Э. Руска разработали магнитные линзы, а в 1931 - 1932 гг. при помощи магнитных и электростатических линз Кнолль, Руска и почти одновременно с ними Э. Брюхе и Г. Йохансон получают электронно-оптические изображения. Крупным вкладом в развитие электронной оптики было исследование А.А. Лебедева, выполненное в 1929 г., во время пребывания его в Англии. Им были показаны применимость и преимущества электромагнитной фокусировки при электронографировании [32]. Этот способ получения электронограмм в сходящемся электронном пучке получил название "дифракции по Лебедеву" [33].

Первые работы по электронной микроскопии в СССР были начаты в Государственном оптическом институте (ГОИ) в конце 1939 г. Вел их В.Н. Верцнер при содействии академика С.И. Вавилова. Примерно к этому времени за рубежом фирма "Сименс" приступила к выпуску промышленных образцов электронных микроскопов.

В 1940 г. в ГОИ был создан первый экспериментальный образец электронного микроскопа, дававший увеличение до 10000 крат и разрешение порядка 400 А. Начавшаяся Великая Отечественная война в значительной степени затормозила работы, но все же в 1942-1943 гг. в Йошкар-Ола, куда был эвакуирован ГОИ, удалось построить более совершенный макет электронного микроскопа с

увеличением 20000 крат и разрешением 150 А [34]. В конце 1944 г. ГОИ было поручено создание небольшой серии электронных микроскопов с увеличением 25000 крат и разрешающей способностью в 100 А. В феврале 1946 г. была выпущена первая партия советских электронных микроскопов [35]. За их разработку А.А. Лебедеву, В.Н. Верцнеру и Н.Г. Зандину в 1947 г. была присуждена Государственная премия.

На рис. 7 изображена принципиальная схема магнитного электронного микроскопа ГОИ. Электронный пучок, вышедший из электронной пушки 1, концентрируется магнитной линзой 2 на предмете 3. Расходимость электронного пучка ограничивается диафрагмой 4. Электронная пушка вместе с конденсорной магнитной линзой и диафрагмой составляет осветительное устройство электронного микроскопа. Объектив электронного микроскопа образует линза 5 с апертурной диафрагмой 6. Для облегчения настройки прибора используется промежуточный экран 7. Изображение, порученное в плоскости промежуточного экрана, в свою очередь, является предметом для магнитной линзы 8, которая проектирует увеличенное изображение на экран 9. Это изображение может наблюдаться через стеклянные окна 10 в корпусе электронного микроскопа.

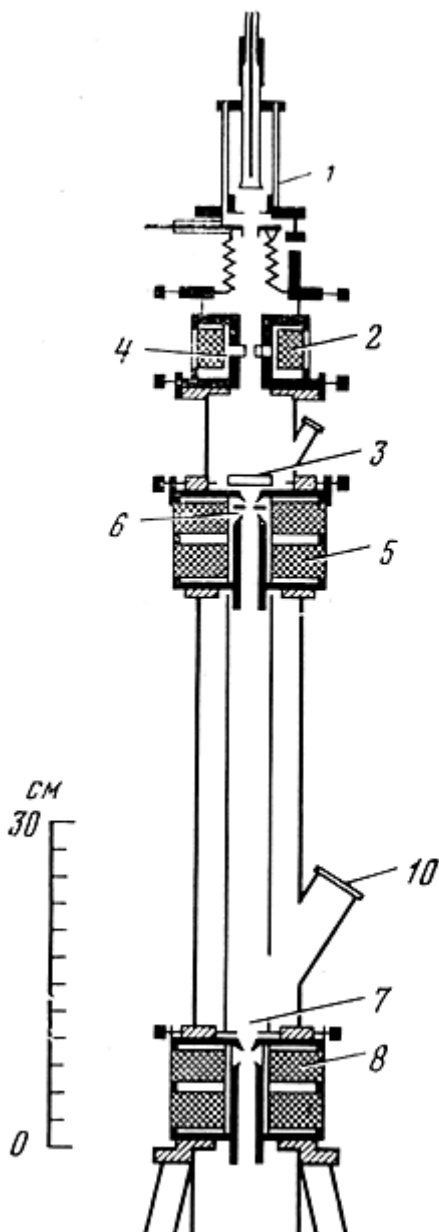
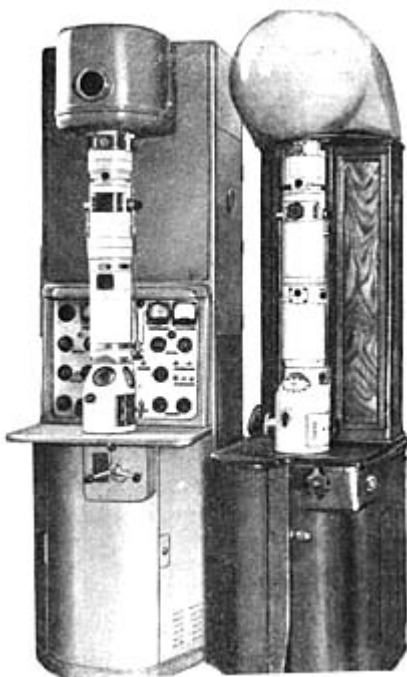


Рис. 7.  
 Принципиальная  
 схема  
 электронного  
 микроскопа

Минимальное фокусное расстояние объективной линзы равно 2 мм, а ее увеличение составляет 130 крат. Минимальное фокусное расстояние проекционной линзы равно 1 мм, при этом ее максимальное увеличение равно 200. Таким образом, результирующее увеличение электронного микроскопа равно произведению увеличений его объективной и проекционной линз и составляет  $130 \times 200 = 26000$  раз. Увеличенное во столько раз изображение рассматривается на блюдателем с помощью лупы, которая увеличивает его еще примерно в два раза. В результате общее увеличение электронного микроскопа ГОИ достигает 50000. Увеличение микроскопа можно при желании уменьшить, понизив ток в проекционной линзе. В результате этого ее фокусное расстояние возрастает, а увеличение уменьшается.

Общий вид электронного микроскопа ГОИ представлен на рис. 8. Один экземпляр этого микроскопа находится ныне в Отделе оптики Политехнического музея. Микроскоп имеет вид металлической колонны, укрепленной на специальном стенде. Внутри колонны размещены основные узлы микроскопа. В нижнюю часть вмонтированы экран и специальная кассета для фотопластинок. К основанию колонны присоединен диффузионный масляный насос.



*Рис. 8. Советские электронные микроскопы марки ГОИ: слева - конструкция 1955 г.; справа - 1947 г.; Политехнический музей. Москва*

Необходимый для работы вакуум создается отдельным ротационно-масляным насосом. К микроскопу подводится анодное напряжение 50 киловольт. Все магнитные линзы питаются от аккумуляторов, которые обеспечивают необходимое постоянство тока. Система питания электронного микроскопа размещается в отдельном металлическом шкафу, на передней панели которого расположены измерительные приборы.

Промышленное освоение электронных микроскопов системы ГОИ началось в 1947 г., а в 1949 г. было начато серийное промышленное производство более совершенной конструкции электронного микроскопа ЭМ-3 [36].

Как и предполагал Аббе, электронный микроскоп внешне совершенно не был похож на обычный оптический микроскоп и не имел с последним ничего общего, кроме названия. На прогресс электронной оптики существенное влияние оказало то обстоятельство, что к моменту ее появления была достаточно хорошо развита теория обычных оптических систем, основанная на геометрической оптике. Немаловажное значение сыграли электроника и вакуумная техника. В конце 70-х годов XX в. появились электронные микроскопы, позволяющие рассмотреть отдельные атомы.

## **От Аббе до Габора**

Вряд ли кто из читателей будет спорить с тем, что одним из самых замечательных открытий нашего столетия является голография. Однако мало кому известно, что история голографии начинается с работ Аббе.

Подавляющее число оптических приборов имеет дело изображениями, полученными в результате регистрации распределения только интенсивности света в некоторой плоскости. Между тем довольно часто ценность представляет вся информация об объекте, а в ряде случаев - преимущественно фазовая, спектральная и поляризационная информация. Получить такую информацию позволила

голография, появление которой сильно изменило представления об изображении объекта.

Возможности, предпосылки для получения голографических изображений существовали еще в XVII в. Именно тогда Христиан Гюйгенс высказал гипотезу о волновой природе света и предложил свой знаменитый принцип, согласно которому световые пучки, встречаясь, не влияют друг на друга. Каждый пучок распространяется независимо и если пучки встречаются в одной точке, то их действие суммируется [37].

Волновые свойства света, лежащие в основе голографии, были изучены и наглядно продемонстрированы Томасом Юнгом в 1801 г., т.е. спустя более ста лет после Гюйгенса. Эксперимент, демонстрирующий интерференцию света, проведенный Юнгом, показал, что при наложении световых волн может образоваться темнота [38]. Полагая, что монохроматический свет представляет собой регулярные синусоидальные колебания, Юнг внес существенный вклад в развитие волновой теории Гюйгенса. Согласно Юнгу, повышение яркости света происходит тогда, когда наблюдается сложение гребня одной волны с гребнем другой. Если же происходит сложение гребня со впадиной, то наблюдается ослабление яркости. Свет, способный интерферировать, называют когерентным. Следует отметить, что впервые наиболее отчетливо явление интерференции света наблюдал в 1816 г. Ж.О. Френель [39]. Им было найдено условие возникновения максимумов и минимумов света.

Так как принцип интерференции световых волн лежит в основе голографии, то ее открытие могло быть сделано еще Юнгом или Френелем. Они, собственно говоря, уже заложили теоретические основы голографии. Оставалось лишь проанализировать полученные результаты.

Впервые идея двуступенчатого преобразования изображения применительно к микроскопу была высказана Аббе еще в 1873 г.<sup>40</sup> Согласно теории Аббе, изображение в микроскопе получается двумя последовательными этапами:

1 - вначале образование дифракционной картины в фокальной плоскости по способу Й. Фраунгофера;

2 - образование из отклоненных пучков оптического изображения в сопряженной плоскости.

Следующий шаг на пути к голографии сделал сотрудник Кэвэндишской лаборатории У. Л. Брэгг в 1939-1942 гг. Он провел анализ кристаллической решетки < помощью дифракции пучка рентгеновских лучей [41]. При этом ему удалось осуществить преобразование дифракционного изображения кристалла одного из минералов в приближенное оптическое изображение структуры его кристаллической решетки. Фаза волны рентгеновского излучения им не регистрировалась.

Учесть информацию о фазе волны удалось голландскому физику Ф. Цернике. В 1934 г. он поставил перед собой задачу: изыскать метод, позволяющий улучшить



контрастность изображения прозрачных объектов при наблюдении их в микроскоп. Цернике рассуждал следующим образом: так как, согласно Аббе, изображение в поле зрения микроскопа образуется в результате интерференции рассеянных и невозмущенных лучей, то в зависимости от величины разности фаз они могут взаимно усиливать или ослаблять друг друга и, таким образом, давать большую или меньшую освещенность в поле зрения [42].

В 1927 г. Д. Габор, только что окончивший Высшее техническое училище в Берлине, поступил на службу в лабораторию фирмы "Сименс", производившей электронную технику. Работая над катодной системой электроннолучевой трубки, он изобрел магнитную линзу. При этом Габор почти вплотную подошел к изобретению электронного микроскопа, появившегося после работ немецкого физика Буша и его ученика Вольфа.

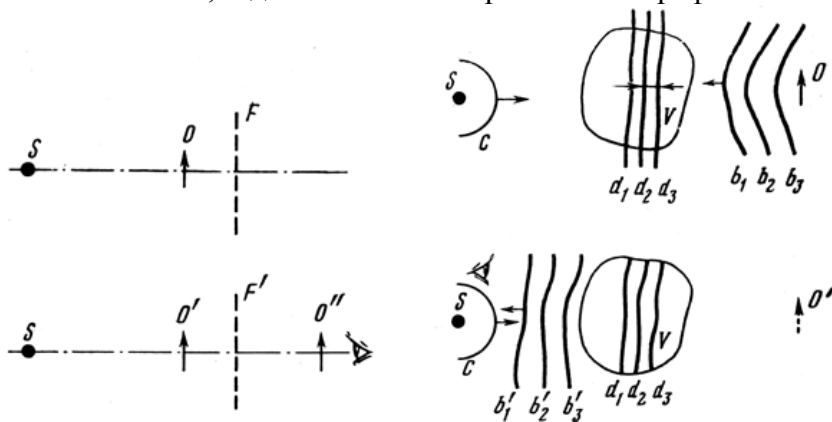
И двадцать лет спустя, в 1947 г., Габора не покидала мысль об улучшении работы электронного микроскопа. Вспоминая события 1947 г., Габор писал:

*"В то время я очень интересовался электронным микроскопом. Это был удивительный прибор, который давал разрешение в сто раз лучше, чем оптический микроскоп, и тем не менее не оправдывал надежд на то, что будут видны атомы кристаллической решетки... Электронная оптика оказалась довольно несовершенной. Наилучшая электронная линза, которая могла быть изготовлена, по оптическим характеристикам была*

*сравнима с дождевой каплей, а не с объективом оптического микроскопа и, как показал Шерцер в своей теоретической работе, никогда не могла быть усовершенствована. Теоретический предел разрешающей способности электронного микроскопа оценивался в то время в  $4 \text{ \AA}$ , что было в два раза хуже величины, требуемой для того, чтобы увидеть атомы кристаллической решетки; на практике же достижимый предел не превышал  $12 \text{ \AA}$ . Эти пределы разрешающей способности электронного микроскопа вытекали из необходимости ограничивать угловую апертуру электронной линзы до нескольких миллирадиан. При такой апертуре сферические aberrации равнялись дифракционному пределу разрешения. Увеличение апертуры вдвое приводило к уменьшению дифракционного предела в два раза, но при этом сферические aberrации возрастали в 8 раз. Регистрируемое в этих условиях изображение получалось безнадежно размытым. После длительного размышления над этой проблемой я в один из прекрасных весенних дней 1947 г. неожиданно нашел ее решение..." [43].*

Таким образом, работая над усовершенствованием электронного микроскопа, Д. Габор в 1947 г. столкнулся с необходимостью улучшить качество изображения, которое сильно искажалось сферической aberrацией электронных линз. Причем, если сферическая aberrация обычных линз исправлялась достаточно легко, то в случае электронной оптики, при ее исправлении возникали принципиальные трудности. Для того чтобы их преодолеть, Габор предложил построить точную модель поля электронных волн в оптическом диапазоне спектра, а затем исправить у этой

модели сферическую aberrацию методами обычной световой оптики. В процессе реализации этой, в общем весьма частной, задачи и была изобретена голография.



**Рис. 9.** Схема получения (вверху) и восстановления (внизу) голограмм по методу Д. Габора (слева) и Ю.Н. Денисюка (справа)

Ход мыслей Габора был весьма прост. На объект  $O$  (рис. 9) падает излучение от источника  $S$ . За объектом располагается фотопластинка  $F$ , регистрирующая результат сложения излучения, рассеянного объектом, и излучения, которое падает на фотопластинку, минуя объект. В результате сложения этих полей возникает картина интерференции, т.е. появляются темные и светлые полосы. При этом, в соответствии со смыслом понятия "интерференция" светлые полосы располагаются там, где фазы волн источника  $S$  и объекта совпадают, а темные - там, где они отличаются. Предположим, что фотопластинка зафиксировала интерференционную картину таким образом, что

коэффициент пропускания полученной голограммы пропорционален интенсивности воздействовавшего на фотопластинку света.

Направим на полученную таким образом голограмму излучение того же монохроматического источника  $S$ . Очевидно, что голограмма пропустит свет только в тех местах, где располагались максимумы интерференционной картины, т.е. там, где фазы волн объекта и источника  $S$  совпадали. Очевидно, что в этих условиях голограмма "выберет" на поверхности фронта волны источника  $S$  те места, и пропустит только те участки, фаза которых совпадает с фазой волны объекта. Таким, образом приблизительно на половине площади голограммы будет воспроизведена волна от объекта. То, что голограмма не воспроизводит поле объекта на месте темных полос картины интерференции, приводит к некоторой неоднозначности воспроизведения фазы, в результате которой появляется ложное изображение объекта. Оба изображения - истинное и ложное - будут сильно искажены.

В силу этих обстоятельств о возможности использования голограммного метода в изобразительной технике в то время даже не упоминалось - метод развивался исключительно в применении к задачам электронно-структурного и рентгеноструктурного анализа.

Габор рассуждал следующим образом:

*"Если исходить из принципа Гюйгенса, пучок лучей должен содержать всю необходимую информацию. Что мешает нам ее «расшифровать»? Очевидно, то, что мы регистрируем на пластинке только половину информации: мы пренебрегаем фазой волны. Нельзя ли выявить ее с помощью интерференции, налагая «когерентный фон»? Немного математики и несколько опытов позволили быстро проверить идею о «восстановлении волны». Достаточно было осуществить суперпозицию комплексной волны, приходящей от объекта с простой волной (плоской или сферической), сделать фотографию, а затем, осветив ее простой волной, восстановить исходную волну. Возникшее при этом изображение объекта было трехмерным" [44].*

За это открытие профессору Дэнису Габору в ноябре 1971 г. была присуждена Нобелевская премия по физике.

Первое практическое применение голография нашла в электронной микроскопии. В 1950 г. под руководством Габора и Эллибона в научно-исследовательской лаборатории фирмы "Associated Electrical Industries" разработали голографический электронный микроскоп [45].

Совершенно самостоятельным путем к идее голографии пришел в конце 50-х годов нашего столетия советский физик Ю.Н. Денисюк. Его внимание привлекли опыты Аббе по дифракционной картине изображения в микроскопе и опыты Френеля. У ученого возникло желание получить, используя явления дифракции, наиболее полную информацию об

объекте и эту информацию зарегистрировать. Он рассуждал так:

*"Принципиальная возможность, судя по всему, есть. Ведь изображение - это не что иное, как особым образом организованное волновое поле. Только поэтому мы и видим изображение. Ведь в глаз попадает не предмет, а те волны, которые отразились от него. По сути дела, мы получаем информацию о том, как провзаимодействовало с веществом предмета некое первичное фотонное поле. Оно рассказывает об истории своего соприкосновения с поверхностью и даже более глубокими слоями предмета. Только поэтому лист в наших глазах зелен, а асфальт сер. Значит, в первую очередь требуется в точности воссоздать волновое поле излучения, рассеянное предметом, - результат встречи «предмет - поле». И тогда мы увидим реальный предмет, хотя никакого предмета на самом деле не будет. А чтобы реализовать идею технически, нужно запомнить поле, записать его, после чего восстановить" [46].*

В 1958-1963 гг. Ю.Н. Денисюк провел исследования [47], основным результатом которых было обнаружение так называемого "явления отображения оптических свойств объекта в волновом поле рассеянного им излучения". Сущность этого явления заключалась в том, что трехмерная фотографическая модель картины стоячих волн, возникающих при рассеянии излучения на произвольном объекте, представляла собой своего рода оптический эквивалент этого объекта. Если теперь на такую "волновую

фотографию" направить излучение источника с белым спектром, то она отразит это излучение так, что возникнет цветное неискаженное пространственное изображение объекта, картина стоячих волн которого была зарегистрирована фотографией.

Схематически это можно представить себе так (рис. 9) Здесь фотопластинка  $V$  устанавливается перед объектом со стороны источника  $S$ . После экспозиции и проявления в эмульсионном слое фотопластинки образуется трехмерная слоистая структура  $(d_1, d_2, d_3)$ , моделирующая пространственное распределение интенсивности в стоячей волне, образованной в результате наложения рассеянного объектом  $O$  излучения и излучения источника  $S$ . Такая структура, подобно интерференционному фильтру, обладает спектральной селективностью и поэтому допускает реконструкцию с помощью обычного источника со сплошным спектром, например лампы накаливания. Механизм действия такой голограммы в общих чертах заключается в следующем. Поверхность пучностей данной стоячей волны есть геометрическое место точек, в которых фаза излучения источника совпадает с фазой излучения, рассеянного объектом. Очевидно, что если на зарегистрированную голограммой поверхность пучностей направить излучение от источника, то фаза отраженной волны совпадет с фазой излучения, рассеянного объектом. Амплитуда в этом случае также восстанавливается, поскольку коэффициент отражения рассматриваемого слоя пропорционален амплитуде излучения, рассеянного объектом. Каждую зарегистрированную трехмерной

голограммой поверхность стоячей волны можно представить как зеркало сложной формы, которое преобразует сферическую волну от источника в волну, полностью идентичную волне излучения, рассеянного объектом.

Таким образом, трехмерные голограммы, записанные по методу Денисюка, допуская реконструкцию белым светом, воспроизводят при этом все наиболее существенные характеристики волнового поля: амплитуду, фазу и спектральный состав. Ложное изображение при этом отсутствует.

В 1962 г. Денисюку удалось обнаружить, что сама трехмерная голограмма в действительности представляет собой лишь только частный случай регистрации гораздо более общего явления. Оказалось, что более полный комплекс отображающих свойств заключен в объемной картине интерференции - так называемой стоячей волне. Трехмерная материальная модель такой волны однозначно воспроизводит амплитуду, фазу и спектральный состав записанного на ней излучения. В дальнейшем было показано, что отображающими свойствами обладают не только стоячие, но и бегущие волны интенсивности, которые образуются в том случае, когда частоты объектной и референтной волн различны.

К настоящему времени голография сформировалась в самостоятельное научное направление, имеющее большое число самых разнообразных практических приложений и



оказывающее существенное влияние на развитие науки и техники [48].

## **Развитие теории Аббе русскими и советскими учеными**

Работы Аббе по теории образования изображения в микроскопе вызвали живейший интерес его современников. Эти работы еще долгое время продолжали оставаться в центре внимания оптиков всех стран мира. Объясняется это прежде всего тем, что именно Аббе поставил резкую границу между изображениями в микроскопе прозрачных и непрозрачных ("самосветящихся" и "несамосветящихся") объектов. Кроме того, им был намечен теоретический предел возможностей оптических инструментов, определяемый волновой природой света. Этот предел был достигнут впоследствии фирмой "Карл Цейсс".

Вместе с тем теории Аббе были присущи и некоторые недостатки. Например, он придавал преувеличенное значение "первичным спектрам". Исправлять недостатки Аббе предоставил потомкам.

Первое такое исправление, а точнее - дополнение, было сделано Рэлеем в девяностых годах прошлого века в его замечательной статье "О теории оптических изображений", в особенности в приложении к микроскопу [49]. В ней он восстановил в своих правах принцип Гюйгенса и чисто математическим путем показал, что метод "первичных

изображений" Аббе дает в принципе то же самое, что и обычное применение принципа Гюйгенса.

Дальнейшее развитие теория Аббе получила в работах замечательного советского физика Л.И. Мандельштама В своей работе "К теории микроскопического изображения Аббе", опубликованной в 1911 г. [50], он теоретически доказал и экспериментально подтвердил правильность принципа Гюйгенса в применении его к изображению в микроскопе. Мандельштам показал, что изображение самосветящегося объекта имеет те же свойства, что и изображение объекта, когерентно освещенного.

В резюме своей статьи Мандельштам писал:

*"Случай самосветящегося и несамосветящегося объекта можно трактовать единообразно... Между изложенными соображениями и рассмотрением Аббе нет никакого противоречия. В зависимости от обстоятельств может оказаться более удобным либо тот, либо другой способ. С помощью единообразного метода рассмотрения выше было показано, что в общем случае не слишком тонких структур самосветящийся объект ведет себя так же, как несамосветящийся, равномерно освещенный со всех сторон. Этот результат позволяет применять теорию Аббе и в специальных случаях изображения самосветящихся объектов" [51].*

В среде оптиков и микроскопистов работа Мандельштама в свое время произвела сенсацию и вызвала оживленную полемику [52]. Дальнейшее углубление теория образования

изображения в микроскопе получила в работах крупнейшего советского оптика академика Д.С. Рождественского. В 1940 г. им были опубликованы две статьи: "К вопросу об изображении прозрачных объектов в микроскопе" [53] и "Когерентность лучей при образовании изображения в микроскопе" [54]. Рождественский писал:

*"При проведении некоторых микроскопических работ мне стало ясно, что наше умение микроскопировать, умение пользоваться весьма совершенными микроскопами не стоит на большой высоте, в очень многих сложных случаях мы не знаем, что мы видим, и еще чаще, как мы видим. Это относится к видению не только прозрачных, но и непрозрачных объектов"* [55].

В первой своей работе Рождественский пытается объяснить механизм образования интерференционных полос, окаймляющих изображение в микроскопе:

*"Процессы изображения непрозрачных и прозрачных объектов в микроскопии отличаются тем, - пишет он, - что у прозрачных объектов явление интерференции окружает изображение объекта резкими полосами. Это обстоятельство вообще сильно мешает наблюдению в микроскоп. Замечательно, что, несмотря на всю простоту и очевидность указанного явления интерференции, оно, по-видимому, до сих пор не было правильно истолковано ни теоретиками, ни практиками микроскопии. Это показывает, что до сих пор никто не приступал к теории изображения прозрачного объекта в микроскопии, так как нельзя коснуться этого вопроса, не задев явления, которое играет в нем основную отрицательную роль. ...Трудно поверить, что явление, наблюдавшееся в течение*

*двухсот лет и притом весьма простое, до сих пор не нашло правильного объяснения. Нужно думать, что при тщательных поисках можно найти ответ в области этой проблемы. Однако ни один курс микроскопии, ни одно практическое руководство до сих пор не помогает микроскописту объяснением происхождения этой любопытной системы интерференционных полос, и в большинстве случаев они упорно именуется дифракционными" [56].*

Рождественский рассматривает ряд чаще всего встречающихся на практике случаев микроскопических наблюдений и делает вывод о том, что появление интерференционных полос, окаймляющих контуры микроскопического изображения, может привести к существенному изменению вида объекта и привести наблюдателя к ложным выводам.

Во второй своей статье "Когерентность лучей при образовании изображений в микроскопе" Рождественский дает строгое определение понятия когерентного освещения и рассматривает вопрос о переходе от когерентного освещения к некогерентному. Он пишет:

*"Опыты Аббе нужно направить не только на то, чтобы в частном случае наглядно доказать влияние широкой апертуры (микроскопа. - В.Г.), но и на то, чтобы утвердить близкую, аналогию между действием когерентных и некогерентных лучей..." [57].*

Мы видели, что значение когерентного и некогерентного освещения в микроскопе было показано в работе

Л.И. Мандельштама. Д.С. Рождественский дал более целесообразное выражение полученной Мандельштамом формулы интенсивности освещения объекта и установил понятие об относительной некогерентности освещения, выражаемой отношением апертур освещающих лучей и объектива микроскопа. Найденному Мандельштамом параллелизму между демонстрационными опытами Аббе с некогерентным освещением и этими же опытами, распространенными на самосветящиеся объекты, Д.С. Рождественский дал простое и естественное толкование.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 *Clay R.S., Court T.H.* The history of the microscope. L., 1932; *Bradbury S.* The evolution of the microscope. Oxford, 1967.
- 2 *Kircher A.* Ars magna lucis et umbrae. Roma, 1646.
- 3 *Borellus P.* De vero Telescopii inventory cum brevi omnium conspiciolorum historia... Accesit etiam Centuria observationum microscopicarum. The Hague, 1655, p. 34.
- 4 *Harting P.* Das Mikroskop: Theorie. Gebrauch, Geschichte und gegenwartiger Zustand derselben. Braunschweig, 1859.
- 5 *Вавилов С.И.* Собр. соч. М.: Изд-во АН СССР, 1956, т. III, с. 261.
- 6 *Galilei G.* Il Saggiatore. - Ed. Naz., 1902, vol. VI, pars. 1, p. 263.
- 7 Цит. по кн.: *Вавилов С. И.* Собр. соч., т. III, с. 262-263.
- 8 Там же, с. 263.
- 9 Там же.
- 10 Там же, с. 264.
- 11 *Сферическая аберрация* - один из видов ошибок оптических систем. При наличии сферической аберрации параллельный пучок лучей,

падающих на линзу, после прохождения через нее пересекает оптическую ось в разных точках, не собираясь в фокусе линзы. При наличии *хроматической аберрации* луч белого света после прохождения через линзу распадается на ряд лучей разных цветов, которые пересекают оптическую ось в различных точках, не собираясь в фокусе линзы.

12 Poggendorffs Annalen, Leipzig, 1832, Bd. 24, S. 188.

13 Цит. по кн.: *Карпов В.* Очерк общей теории микроскопа в ее историческом развитии. М., 1907, с. 10-11.

14 *Nageli, Schwendener.* Das Mikroskop: Theorie und Anwendung desselben. Leipzig, 1865.

15 Listing. Vorschlag zur fernerer Vervollkommung des Mikroskops auf einem abgeanderten dioptrischen Wege. - Poggendorffs Annalen, 1869, vol. 136.

16 *Helmholtz G.* Die theoretische Grenze für die Leistungsfähigkeit der Mikroskope. - Poggendorffs Annalen, 1874, Jubelband.

17 *Abbe E.* Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung. - Arch. Mikrosk. und Anat., Jena, 1873, Bd. 9.

18 *Capskii S.* Theorie der optischen Instrumente nach Abbe. Jena, 1893.

19 *Пекара А.* Новый облик оптики: Введение в квантовую электронику и нелинейную оптику. М.: Сов. радио, 1973, с. 230-233.

20 *Рождественский Д.С.* Избр. тр. М.; Л.: Наука, 1964, с. 331.

21 *Abbe E.* Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1902, Bd. I, S. 82-83.

22 *Ibid.*, S. 87.

23 *Lummer O., Reiche F.* Die Lehre von der Bildenstehung im Mikroskop von Ernst Abbe. Braunschweig: Vieweg-Verlag, 1910.

24 Цит. по журн.: *Йенское обозрение*, 1966, № 3, с. 18.

25 *Altmann.* Zur Theorie der Bilderzeugung. - Arch. Anat. und physiol. Anat. Abh., 1880; *Altmann.* Ober die Vorbemerkungen des H. Prof. Abbe. - Arch. Anat., 1880.

- 26 *Abbe E.* Über die Grenzen der geometrischen Optik / Mit Vorbemerkungen über die Abhandlung von Altmann. - S. - Ber. Jenaisch. Ges. Med. und Naturwiss., 1880.
- 27 *Altmann.* Über die Vorbemerkungen des H. Prof. Abbe. - Arch. Anat, 1880.
- 28 *Lord Rayleigh.* On the theory of optical images with special reference to the microscope. - Phil. Mag. Ser. V, 1896, vol. 42.
- 29 *Abbe E.* Gesammelte Abhandlungen, Bd. I, S. 149.
- 30 *Ibid.*, S. 151.
- 31 *Ibid.*, S. 149-152.
- 32 Nature, 1931, №128, p. 491.
- 33 Марк Г., Вирль Р. Дифракция электронов. М.; Л., ГТТИ, 1933.
- 34 Природа, 1941, № 4, с. 72.
- 35 Опт. -мех. пром-сть, 1946, № 5/6, с. 3.
- 36 *Верцнер В. Н.* Электронная микроскопия и новые методы исследования микроструктур. М.; Л.: Машгиз, 1956, с. 117.
- 37 *Гюйгенс Х.* Трактат о свете. М.; Л.: Гостехиздат, 1935.
- 38 *Young T.* On the theory of light and colours. - In: A course of lectures on natural philosophy and the mechanical Arts. L., vol. II. 1807.
- 39 *Френель О.* Избр. тр. по оптике. М.: Гостехиздат, 1955.
- 40 *Abbe E.* Gesammelte Abhandlungen, Bd. I.
- 41 Nature, 1939, №143, p. 678; 1942, №149, p. 470; 1950, №166, p. 399.
- 42 *Zernicke F.* Das Phasenkontrastverfahren bei der mikroskopischen Beobachtung. - Ztschr. techn. Phys., 1935, Bd. 16, S. 454-455.
- 43 *Габор Д.* Голография (1948-1971 гг.). - УФН, 1973, т. 109, вып. 1, сб.
- 44 *Габор Д.* Предисловие. - В кн.: *Вьено Ж., Смигильский П., Руайе А.* Оптическая голография: Развитие и применение. М., Мир, 1973, с. 7.
- 45 *Gabor D.* Microscopy by reconstructed wavefronts. - Proc. Roy. Soc, 1951, vol. B64, p. 449.
- 46 Цит. по кн.: *Демидов В.Е.* Пойманное пространство. М.: Знание, 1982, с. 141.

- 47 *Денисюк Ю. Н.* Об отображении оптических свойств объекта в волновом поле рассеянного им излучения. - ДАН СССР, 1962. т. 144, № 6, с. 1275-1278; *Денисюк Ю. Н., Протас И. Р.* Усовершенствованные липпмановские фотографические пластинки для регистрации стоячих световых волн. - Оптика и спектроскопия, 1963, т. 14, вып. 5, с. 759; *Денисюк Ю. Н.* Об отображении оптических свойств объекта в волновом поле рассеянного им излучения. - Оптика и спектроскопия, 1963, т. 15, вып. 4, с. 522- 532; 1965, т. 18, вып. 2, с. 275-282.
- 48 *Денисюк Ю. Н., Гуриков В. А.* Развитие голографии как нового научного направления. - Природа, 1984, № 5.
- 49 Sci. Pap., 1896, pap. IV, p. 235.
- 50 Ann. Phys., 1911, vol. 35, p. 881-897.
- 51 *Мандельштам Л. И.* Полн. собр. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1948, т. 1, с. 224-225.
- 52 Там же, с. 226-228.
- 53 *Рождественский Д.С.* К вопросу об изображении прозрачных объектов в микроскопе. - Тр. ГОИ, 1940, т. 14, с. 16-40.
- 54 *Рождественский Д.С.* Когерентность лучей при образовании изображения в микроскопе. - ЖЭТФ, 1940, вып. 10, с. 305-330.
- 55 *Рождественский Д. С.* Собр. тр. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949, с. 478.
- 56 Там же, с. 477-478.
- 57 *Рождественский Д.С.* Избр. тр. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1964, с. 224.



*Глава третья*

**Исследования Аббе в области  
прикладной оптики**

**"Условие синусов" Аббе**

В своем многогранном творчестве Аббе уделял большое внимание вопросам исправления ошибок ("аббераций") оптических систем. Интересно отметить, что вопрос этот волновал всех оптиков, начиная с Альхазена.

Первой погрешностью оптических систем, с которой столкнулись ученые, была сферическая абберация. Продольная сферическая абберация для случая вогнутого сферического зеркала была известна еще Ибн аль Хайтаму (Альхазену) в X в. [1]. Кроме того, уже античным ученым было известно, что только в параболическом зеркале падающий параллельный пучок лучей собирается в одной точке и именно зеркало такой формы обладает наибольшей зажигательной силой. Иными словами, параболическое зеркало не имеет сферической абберации. Строгое математическое доказательство наличия продольной сферической абберации у вогнутого зеркала было дано в XIII в. Роджером Бэконом [2].

Вопросами аберраций оптических систем занимался Леонардо да Винчи. В его манускриптах немало рисунков, на которых изображены каустические кривые. Он указал экспериментальный метод определения аберраций, аналогичный используемому в некоторых современных абберометрах [3]. Математическое определение продольной сферической аберрации вогнутого сферического зеркала можно найти в сочинении Франческо Мавролико [4].

После создания в конце XVI - начале XVII в. телескопа вопрос об аберрациях оптических систем встал с особенной остротой. Широкое распространение телескопов и использование их астрономами предъявляло повышенные требования к качеству изображения, даваемого этими приборами. Последнее заставляло ученых изыскивать методы исправления аберраций оптических систем.

Сферическую аберрацию в XVII в. пытались исправить в основном двумя способами: использованием асферических поверхностей (Декарт, Гюйгенс) и увеличением длины трубы телескопа (Гюйгенс, Гевелий).

Первый способ тогда не нашел практического применения, так как даже в наши дни изготовление линз с асферическими поверхностями встречается с большими трудностями. Вместе с тем именно в XVII в. были разработаны интересные методы расчета асферических поверхностей линз. Так, например, VIII глава "Диоптрики" Р. Декарта посвящена вопросу расчета геометрических поверхностей оптических линз, свободных от сферических аберраций.

Комбинируя гиперболические и эллиптические поверхности со сферическими, Декарт с помощью двух линз полностью исправляет сферическую aberrацию для предмета, расположенного произвольно.

Несколько позже Декарт нашел более общее решение вопроса исправления сферических aberrаций, заменив две линзы одной с преломляющей поверхностью четвертого порядка [5]. В этом смысле мы вправе считать Декарта основоположником асферической оптики. Указанные выше поверхности получили в дальнейшем название "декартовых овалов".

В разделе книги, который называется "О природе кривых линий", Декарт вновь возвращается к вопросу об исправлении сферических aberrаций:

*"Однако теперь, - пишет Декарт, - я должен восполнить то, что мною было пропущено в «Диоптрике». Указав там, что стекла, которые в равной мере собирают все проходящие через них и исходящие из одной точки лучи, могут быть разной формы, и отметив, что те из этих стекол, которые весьма выпуклы с одной стороны и вогнуты с другой, обладают большей зажигающей силой, чем стекла, равновыпуклые с обеих сторон, которые, наоборот, лучше для очков, я, учитывая трудности, представляемые для мастеров их шлифовки, ограничился в «Диоптрике» рассмотрением лишь тех стекол, которые считал наилучшими с практической точки зрения. Поэтому, чтобы в теоретической части этой науки больше не оставалось*

*ничего пожелать, я должен еще выяснить форму тех стекол, которые имеют одну поверхность сколь угодно выпуклой или вогнутой и тем не менее собирают все исходящие из одной точки параллельные лучи в другой точке. Я должен буду также выяснить форму стекол, дающих то же самое, но или одинаково выпуклых с обеих сторон, или же таких, что выпуклость одной из их поверхностей находится в данном отношении к выпуклости другой" [6].*

Далее, в разделе книги II "О природе кривых линий", который называется "Как можно изготовить стекло, одна из поверхностей которого имеет любую выпуклость или вогнутость и которое собирает в данной точке все лучи, исходящие из другой данной точки" [7], Декарт дает подробное описание поверхностей линзы, исправленной в отношении сферической аберрации.

Интересно отметить, что некоторые из рассчитанных Р. Декартом и Х. Гюйгенсом асферических линз получили свое практическое воплощение в наши дни.

Второй из указанных выше способов исправления сферической аберрации нашел в XVII в. довольно широкое практическое применение в конструкциях чрезвычайно длинных телескопов. Польский астроном И. Гевелий построил в Данциге телескоп длиной в 150 футов (около 50 м) и вынужден был соорудить для него специальную башню [8]. Для того чтобы избежать этого затруднения, Х. Гюйгенс предложил "воздушный телескоп" без тубуса, в

котором объектив и окуляр были укреплены изолированно друг от друга [9].

Что же касается хроматической аберрации, то она не была обнаружена ни Гюйгенсом, ни Декартом, ни их предшественниками или современниками. На первый взгляд это может показаться странным: зрительные трубы и микроскопы в XVII в. использовались многими просвещенными людьми и почему-то никто из них не обратил внимания на "радужный ореол", который виден при наблюдении звезд и планет. Объяснить это можно только низким качеством изготовления оптических линз (и вообще стекла). Последнее настолько искажало картину изображения, что цветной ореол становился малозаметным.

Дальнейшее развитие теории аберраций оптических систем было связано со стремлением улучшения конструкции телескопа. Именно этим вопросом в 1669 г. начал заниматься Исаак Ньютон. В 1669 г. в своих "Лекциях по оптике" он ставит вопрос об аберрациях оптических систем:

*"Изучающие диоптрику воображают, что зрительные приборы могут быть доведены до любой степени совершенства при помощи стекла, если полировкой сообщить ему желаемую геометрическую фигуру. Для этой цели придуманы были разные инструменты для притирания стекол по гиперболическим, а также параболическим фигурам. Однако точное изготовление таких фигур до сих пор никому не удалось, ибо работали понапрасну. И вот, для того чтобы не тратили далее труд свой на безнадежное*

*дело, осмеливаюсь я предупредить, что если бы даже все происходило удачно, все же полученное не отвечало бы ожиданиям. Ибо стекла, которым придали бы фигуры наилучшие, какие можно придумать для этой цели, не будут действовать и вдвое лучше сферических зеркал, полированных с той же точностью. Говорю это не для осуждения авторов-оптиков, ибо все они в отношении намерения своих доказательств высказывались точно и вполне правильно. Однако нечто, и притом очень важное, было оставлено ими для открытия потомкам. Так, я обнаружил в преломлениях некую неправильность, искажающую все. Она вызывает не только недостаточное превосходство конических сечений над сферическими фигурами, но и служит причиной того, что сферические фигуры дают много меньше, чем если бы сказанное преломление было однородным" [10].*

Этот вывод определил два основных направления дальнейшей деятельности Ньютона в области технической оптики: первое - это попытки расчета и устранения сферической, а главное - хроматической аберраций, и второе - создание реальной конструкции ахроматического телескопа.

Несомненно, что о существовании хроматической аберрации было известно и до Ньютона. Для ее обнаружения достаточно было посмотреть в зрительную трубу на светящуюся точку. Однако, пишет С.И. Вавилов, "никому до него не приходило в голову связать ее с неотчетливостью изображений в трубе, никто не ставил до Ньютона вопроса

*об ее причине и никто не искал практического выхода в отражательном телескопе. Одна постановка таких вопросов и в таком сочетании подымала Ньютона над всеми оптиками - его современниками" [11].*

В своих "Лекциях по оптике" Ньютон впервые ставил вопрос об определении хроматической аберрации: *"Определить для разнородных лучей, падающих на сферу, ошибки, порождаемые неравными преломлениями одинаково падающих лучей" [12].* Им же была определена хроматическая аберрация положения изображения для параксиальных лучей. Вывод формулы хроматической аберрации, который приводит Ньютон в своих "Лекциях", по существу ничем не отличается от выводов, приводимых в современных курсах оптики. В принятых в настоящее время обозначениях формула Ньютона для определения хроматической аберрации  $\Delta s_1$ , вызываемой одной поверхностью, принимает вид

$$\Delta s_1 = (s_1^2/n') [(1/r - 1/s) \Delta n' - \Delta n/r],$$

где  $\Delta n$  и  $\Delta n'$  - дисперсии первой и второй прозрачных сред.

Далее Ньютон проводит сравнение величин сферической и хроматической аберраций и делает вывод:

*"При помощи сего... можно сопоставить ошибки однородных лучей, происходящие на сферических поверхностях вследствие несоответствия фигуры*

(сферические aberrации. - **В.Г.**) с ошибками разнородных лучей (хроматические aberrации. - **В.Г.**). Поэтому причина того, что телескопы не продвинулись до большего совершенства, не есть несоответствие сферической фигуры, а неоднородность света" [13].

Кроме формулы для вычисления хроматической aberrации Ньютон приводит формулу для поперечной сферической aberrации третьего порядка для частного случая; когда луч падает параллельно оптической оси системы (предложение XXXI в "Лекциях по оптике"). Ньютон также указывает, что им выведена и формула для общего случая, когда предмет находится на конечном расстоянии. В современных обозначениях эта формула выглядит так:

$$z = - (s'/2n') h^3 n^2 (1/r - 1/s)^2 (1/n's' - 1/ns),$$

где  $z$  - поперечная сферическая aberrация;  $s, s'$  - расстояния от точек пересечения луча с осью до вершины преломляющей поверхности;  $h$  - высота падения луча.

"Современный вывод формулы сферической aberrации, - отмечает С.И. Вавилов, - аналогичен выводу Ньютона и выполняется с теми же пренебрежениями, которые допускает Ньютон. Эти пренебрежения относятся к так называемым «высшим порядкам» сферической aberrации" [14].

Ньютоном были также предприняты попытки создания практической конструкции ахроматической системы. В его "Оптике" [15] имеется описание "стеклянно-водяного



*объектива*", состоящего из стеклянных менисков, пространство между которыми заполнено водой. Однако тут Ньютон совершил ошибку, которая состояла в том, что в воду Ньютон добавил свинцовый сахар для "просветления", благодаря чему коэффициент преломления воды настолько приблизился к коэффициенту преломления стекла, что эффекта ахроматизации не возникло. Исходя из этого, Ньютон сделал ошибочный вывод о том, что частная относительная дисперсия  $(n-1)/\Delta n$  - есть универсальная постоянная, одинаковая для всех прозрачных сред, а потому исправление хроматических aberrаций оптических систем не возможно.

Ошибка Ньютона имела тяжелые последствия для развития технической оптики. Непререкаемый авторитет Ньютона почти на столетие отодвинул вопрос о возможности создания ахроматических оптических систем. Правда, в 1695 г. Дэвид Грегори, руководствуясь аналогией с человеческим глазом, где двояковыпуклый хрусталик соприкасается с вогнутовыпуклым стекловидным телом (две линзы с различной относительной дисперсией), предложил на этом принципе строить ахроматические оптические приборы. Но практически эта идея была осуществлена Честером Холлом в 1729 г. и позднее, в 1758 г., Джоном Доллондом путем сочетания двояковыпуклой линзы из кронгласа с вогнутой линзой из флинтгласа. Эйлер был в числе первых ученых, резко выступивших против утверждения Ньютона о невозможности построения линз, свободных от хроматической aberrации. В 1747 г. он

высказал идею о возможности создания ахроматического объектива.

Как известно, открытие ахроматических систем почти всегда связывается с именами Ч. Холла и Д. Доллонда и при этом очень часто забывают заслуги Л. Эйлера. Сам Эйлер излагал историю создания ахроматических систем следующим образом:

*"Наше мнение вскоре же подверглось яростным нападкам со стороны покойного Доллонда, который еще долгое время считал, что доказательство великого Ньютона обосновано настолько прочно, что не может быть ошибочным. Для подкрепления своего мнения он приступил к опытам над преломлением различных прозрачных веществ, в особенности разных сортов стекла. Эти опыты вполне подтвердили мое мнение, и Доллонд принужден был признать свою ошибку. Без сомнения, именно это важное открытие заставило искусного мастера с жаром приняться за усовершенствование обычных линз" [16].*

Интересно отметить, что в западноевропейской литературе XIX-XX вв. изобретение Доллонда подается как нечто совершенно новое и независимое от исследований Эйлера. Однако современники Эйлера и Доллонда относились к этому вопросу совсем иначе. Так, знаменитый английский физик Пристли в своей истории оптики (1772 г.) прямо указывает на то, что Доллонд приступил к своим изысканиям под непосредственным влиянием работ Эйлера [17]. Это же отмечает С.Я. Румовский в книге "Речь о начале и приращении оптики" (1763 г.) [18], а в статье

"Главнейшие изобретения с некоторых веков в Европе учиненные" читаем:

*"Утверждаясь на доказательствах г. Эйлера, на мысль пришло г. Доллонду объективные стекла делать из двух родов стекла, известных в Англии под названием флинтглас и кронглас. Первое из них сие отменное имеет свойство, что разных цветов лучи по преломлении больше рассеивает, нежели кронглас, или обыкновенное простое стекло" [19].*

Изобретение Доллонда повлияло, в свою очередь, на дальнейшие работы Эйлера, особенно в части уточнения расчетов ахроматических систем. Эйлер выполнил расчеты для сложных ахроматических линз, состоящих из большого числа стекол (до 10). Эти работы нашли свое завершение в фундаментальной трехтомной "Диоптрике" Эйлера [20], вышедшей в 1769-1771 гг.

Рассматривая центрированную оптическую систему, Эйлер в первом приближении получает известные формулы геометрической оптики. Во втором приближении Эйлер учитывает aberrации - сферическую и хроматическую. При малом входном зрачке эти aberrации являются членами второй степени разложения в ряд по степеням входного зрачка:

$$x = ay^2 + by^4 + cy^6 + \dots$$

В этом уравнении форма преломляющей поверхности линзы определяется уравнением  $x = f(y)$ .

Позже было обнаружено, что коэффициент ( $b$ ) при четвертой степени ( $y$ ) определяет aberrации третьего порядка системы.

Пользуясь полученными формулами, Эйлер определяет сферическую aberrацию вдоль оптической оси для пучка лучей, идущих из точки на оптической оси, т.е. *"продольную сферическую aberrацию"*. Опираясь на свою теорию, Эйлер пытался изготовить телескопы и микроскопы, значительно более совершенные, чем применяемые в то время, причем основное внимание он уделял коррекции названных выше aberrаций, а также получению возможно большего поля зрения.

Несмотря на правильность всех рассуждений Эйлера, проверка на практике его оптических систем не дала ожидаемых результатов. Если бы мы захотели сравнить объективы, рассчитанные и созданные Эйлером, с объективами, сконструированными его современниками, то обнаружили бы интересный факт. Во всех оптических системах Эйлера сферическая aberrация была хорошо исправлена, но только в одном случае его объектив имел хорошую коррекцию в отношении условия синусов. Все же другие оптические системы, рассчитанные Эйлером, обнаруживали значительные aberrации комы.

Объясняется это тем, что Эйлер не знал о роли условия синусов в расчете оптических систем. Он считал, что при исправлении сферических и хроматических aberrаций

оптическая система будет давать хорошее изображение. Поэтому не удивительно, что его объективы, несмотря на хорошо исправленные сферические aberrации, все же давали плохое изображение. Это обстоятельство привело впоследствии к недооценке значения работ Эйлера в области развития теории aberrаций оптических систем. Кроме определения сферической aberrации для точек объекта, расположенных на оптической оси системы, Эйлер впервые в истории оптики дал и формулы коррекции хроматических aberrаций.

В последних разделах III тома "Диоптрики" (1771 г.) Эйлер рассматривает несколько типов оптических систем микроскопов с ахроматическим объективом.

К сожалению, эти конструкции оптических систем Эйлера, представляющие выдающийся теоретический интерес, практически осуществлены не были. На то имелось несколько причин, в основном чисто технического порядка: расчеты Эйлера могли дать эффект лишь при абсолютно точной их реализации (точная центрировка линз, точная выверка расстояний между линзами, наконец, высокая точность изготовления самих линз). Все это с учетом состояния оптической технологии того времени было почти не осуществимо, особенно в отношении точности изготовления линз, имеющих малый диаметр и короткий фокус. На это обстоятельство указывал и сам Эйлер:

*"Мастер должен придать шлифовальным чашкам в точности ту же кривизну, какая указана расчетом для*

*линз, и этого еще недостаточно, так как пока идет обработка стекла в шлифовальной чашке для придания ему ее формы, форма самой чашки изменяется в свою очередь; время от времени приходится исправлять форму шлифовальной чашки, ибо при малейшем пренебрежении всеми этими предосторожностями не знаешь, можно ли надеяться на успех; при всем том весьма трудно помешать тому, чтобы стекло не приняло форму, несколько отличающуюся от формы чашки; легко видеть поэтому, настолько трудно привести к совершенству этот важный отдел диоптрики" [21].*

Тем не менее оптическая и инструментальная мастерские Петербургской академии наук все же занимались конструированием ахроматических микроскопов по указаниям Эйлера и его ученика Н. Фусса. В 1784 г., уже после смерти Эйлера, в Петербурге академиком Ф. Эпинусом был рассчитан и изготовлен первый в мире ахроматический микроскоп [22]. В Западной Европе первые ахроматические микроскопы появились лишь в 1807 г.

Поскольку устранение сферической аберрации позволяло получить с помощью широких пучков лучей практически безабберационные изображения осевых точек, можно было бы предположить, что то же произойдет и для точек, находящихся в непосредственной близости от оси. Вопреки всем ожиданиям это оказалось не так. Объяснить, в чем причина этого явления, выпало на долю Аббе. Он показал, что разные зоны простой линзы образуют изображение плоского элемента с различным увеличением. Соответственные точки отдельных изображений объекта,

образованных различными зонами, при наложении в целом изображении совпадают лишь на оси оптической системы. Вне оси, наоборот, они располагаются на большем или меньшем расстоянии друг от друга, и потому здесь не может образоваться резкого изображения. Для получения резкого изображения необходимо наряду с исправлением сферической аберрации для осевой точки оптической системы следить за тем, чтобы все зоны системы давали отдельные изображения объекта одинаковой величины. Аббе показал, что для этого должно быть выполнено определенное условие, названное им "условием синусов". Это условие устанавливает, что для всех лучей, выходящих из точки на оси оптической системы и направляющихся после преломления оптической системой к сопряженной точке изображения, отношение между синусами углов сопряженных лучей с осью должно быть постоянным:

$$n_1 \sin u_1 : n_2 \sin u_2 = y_2 : y_1 = v,$$

где  $n_1$ ,  $n_2$  - показатели преломления среды со стороны объекта и изображения;  $v = y_2 / y_1$  - увеличение оптической системы, которое должно оставаться постоянным для любой пары сопряженных лучей, исходящих из точки, лежащей на оси, и ограниченных углами  $u_1$  и  $u_2$  с осью оптической системы.

Две точки, для которых устранена сферическая аберрация и соблюдено условие синусов, называются со времен Аббе

апланатическими. Аббе установил, что на оси оптической системы возможна только одна пара апланатических точек.

Аббе указал также простой способ выяснить, в какой мере выполнено условие синусов. Для этой цели Аббе сделал специальный рисунок (рис. 10), который рассматривают сквозь испытываемую оптическую систему. Если условие синусов выполнено, то удастся найти такое положение рисунка, при котором наблюдатель видит его изображение в виде прямоугольной сетки.



Рис. 10.  
Тест-объект Аббе  
для проверки  
«условия синусов»

Испытав много микрообъективов микроскопов, сделанных "наугад" старыми мастерами, Аббе обнаружил, что у всех хороших объективов условие синусов выполнено. В настоящее время условие синусов Аббе всегда принимается во внимание при расчетах любых оптических систем.

## **Ахроматы и апохроматы Аббе и Рудольфа**

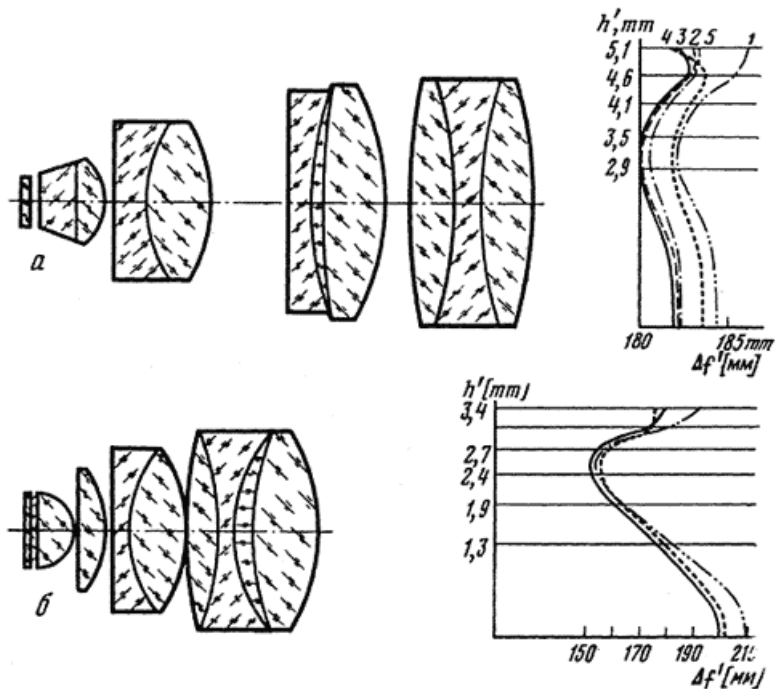
До Аббе усилия многих оптиков были направлены на исправление осевых аберраций (сферических,



хроматических, астигматизма). Ахроматизация оптических систем достигалась применением двух сортов оптического стекла (крона и флинта) с разной относительной дисперсией, благодаря чему получалось совмещение точек пересечения лучей двух длин волн (С и F). При этом оставались, естественно, хроматическая aberrация, обусловленная несовмещением точек пересечения для лучей разных цветов, и хроматическая разность сферической aberrации. Эти aberrации создавали слабые цветные ореолы вокруг контура объекта наблюдения; они получили название вторичного спектра.

Путем применения большого числа оптических поверхностей линз и использования полевого шпата Аббе в 1873 г. впервые удалось сконструировать объектив, у которого ахроматизация достигалась для трех цветов [23]. Такой объектив был назван Аббе апохроматом (рис. 11). Для каждого сорта оптического стекла, применяемого Аббе для постройки апохроматов, им были определены показатели преломления для цветов В, D, E, F и G (табл. 1). Величина фокусного расстояния апохроматов Аббе для различных цветов лучей и различных высот ( $h$ ) падения лучей на оптическую систему представлена в табл. 2.

В 1879 г. Аббе рассчитал объектив, названный им полуапохроматом [24]. Этот объектив занимал промежуточное положение между ахроматами и апохроматами. У полуапохроматов благодаря применению линзы из флюорита была значительно улучшена хроматическая коррекция по сравнению с ахроматами.



**Рис. 11. Апохроматические объективы Аббе и графики их aberrаций**

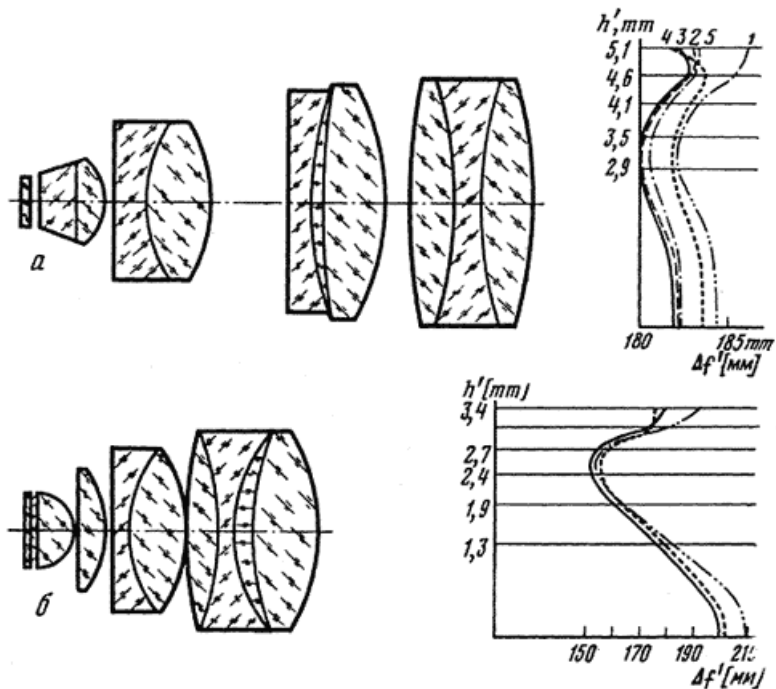
*a* — первый (1873 г.); *b* — второй (70-е годы XIX в.); 1 — для красных лучей; 2 — для желтых; 3 — для зеленых; 4 — для фиолетовых; 5 — для голубых;  $h'$  — высота падения лучей;  $\Delta f'$  — отклонение фокусного расстояния

Таблица 1

	$n_B$	$n_D$	$n_E$	$n_F$	$n_G$
Kron I	1,51082	1,51429	1,5175	1,52028	1,52527
Flint 1	1,56881	1,57428	1,5795	1,58415	1,59275
Flint II	1,60461	1,61092	1,6170	1,62245	1,63263
Flint III	1,64110	1,61854	1,6558	1,66233	1,67463
Flint IV	1,70373	1,71293	1,7220	1,73019	1,74575

Таблица 2

$h$ , мм	0	2,9	3,5	4,1	4,6	5,1
<i>B</i>	184,37	182,21	182,32	183,39	185,29	186,05
<i>D</i>	182,23	180,24	180,35	181,33	182,94	182,96
<i>E</i>	182,0	180,20	180,36	181,32	182,76	182,08
<i>F</i>	182,32	180,63	180,82	181,75	183,04	182,08
<i>G</i>	182,55	181,89	182,00	182,77	183,65	181,75



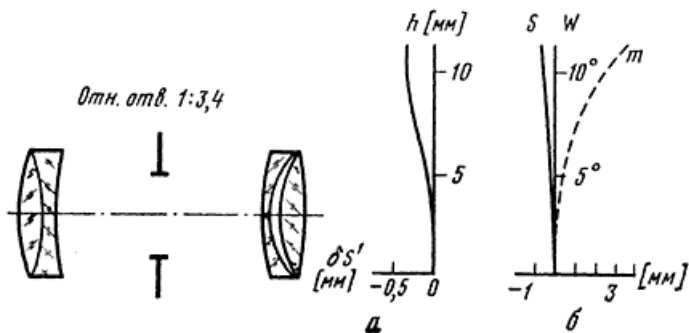
**Рис. 11. Апохроматические объективы Аббе и графики их aberrаций**

*a* — первый (1873 г.); *b* — второй (70-е годы XIX в.); 1 — для красных лучей; 2 — для желтых; 3 — для зеленых; 4 — для фиолетовых; 5 — для голубых;  $h'$  — высота падения лучей;  $\Delta f'$  — отклонение фокусного расстояния

Середина и вторая половина XIX в. ознаменовались бурным развитием фотографической оптики. На повестке дня стояла задача расчета фотографических объективов с высокой светосилой и большой разрешающей способностью. Для того чтобы фотографические объективы давали изображения

высокого качества, к ним предъявлялись повышенные требования относительно аберрационной коррекции. До этого времени (до середины XIX в.) объективы фотоаппаратов состояли в основном из комбинации двух линз. Аберрации таких объективов удавалось частично исправлять эмпирическим путем, последовательно изменяя радиусы кривизны линз и подбирая показатели преломления стекол, из которых эти линзы были изготовлены. Двухлинзовые объективы имели значительную "остаточную" сферическую аберрацию. Хроматические аберрации в таких объективах удавалось исправлять подбором соответствующих сортов стекла.

Вследствие резкого повышения требований к качеству изображения, даваемого фотоаппаратом, двухлинзовые объективы перестали удовлетворять потребителей. Конструкторы начали создавать оптические системы из трех и более линз. Крупным событием в истории инструментальной оптики явилось создание Й. Петцвалем в 1840 г. портретного объектива, далеко превосходившего своими качествами аналогичную оптику.



**Рис. 12.** Оптическая схема портретного объектива И. Петцваля (1840 г.) и графики его aberrаций

**а** — график сферической aberrации ( $\delta S'$ ); **б** — график астигматизма ( $m$  — для меридиональной составляющей;  $S$  — для сагиттальной);  $h$  — высота падения луча;  $W$  — полевой угол

Объектив Петцваля (рис. 12) имел большое относительное отверстие (1:3,2), у него впервые было достигнуто одновременное исправление сферической aberrации, комы и астигматизма при удовлетворительной величине хроматических aberrаций. Эти объективы получили широкое распространение и находились в эксплуатации более 100 лет. Методика, которой пользовался Петцваль при создании своих объективов, не сохранилась, однако известно, что он построил свой портретный объектив, проведя предварительные аналитические расчеты aberrаций. Работа по созданию этого объектива была осуществлена в чрезвычайно короткие сроки (1836-1840 гг.). При этом был решен целый комплекс задач технической оптики: оценка качества изображения, выбор типа

оптической системы, создание техники расчета оптических систем и др.

В 1886 г. сотрудником Аббе становится П. Рудольф - специалист по тригонометрическим расчетам оптических систем. Им был произведен расчет предложенного Аббе симметричного триплета, в котором крайние линзы были простыми, а средняя - склеена из трех линз; ее назначение состояло в том, чтобы уничтожить сферическую и хроматическую аберрации. Для расчета этого объектива Аббе вывел новые формулы, позволяющие определять астигматизм. Вычисления проводил Рудольф. Выбор стекол с различной относительной дисперсией давал Аббе и Рудольфу возможность не только уничтожить вторичный спектр, но и выполнить условие синусов для многих цветов, т.е. появилась возможность создания фотографического объектива-апохромата. В конце 80-х годов XIX в. такой объектив был создан. Он имел фокусное расстояние 100 мм, относительное отверстие  $1 : 7,2$ ; продольная сферическая аберрация не превышала 0,4 мм.

В 1888-1889 гг. Рудольф по поручению Аббе занялся расчетом объективов, в которых должен был быть исправлен астигматизм - главный недостаток фотографических объективов того времени. Рудольф прежде всего хотел получить оптическую систему, свободную от сферической аберрации, астигматизма и дисторсии для однородных лучей определенного цвета, а затем при помощи новых сортов стекла уничтожить и хроматическую аберрацию.

На основании проведенного тригонометрического расчета хода лучей Рудольф пришел к следующим выводам: если в апланате расстояние между линзами выбрано так, чтобы изображение было возможно плоским, то астигматическая разность равна нулю только в точке пересечения изображения с осью системы; с увеличением угла наклона главных лучей к оси системы астигматическая разность увеличивается; с уменьшением расстояния между половинами апланата астигматическая разность уменьшается, но изображение перестает быть плоским.

Согласно вычислениям Рудольфа, объектив-анастигмат должен состоять из двух систем:

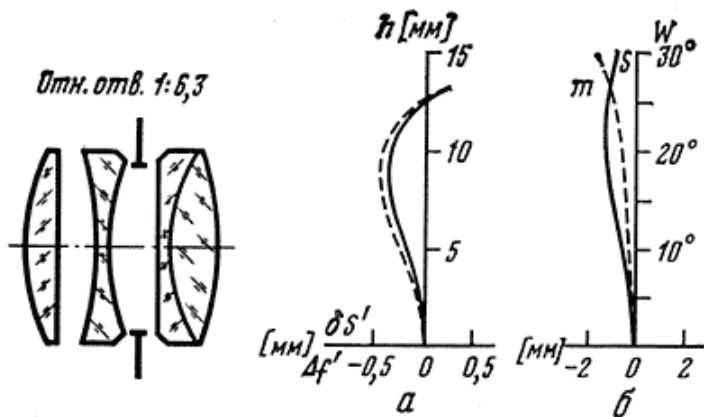
1 - склеенной системы, в которой показатель преломления крона меньше показателя преломления флинта (это необходимо для уничтожения сферической аберрации);

2 - склеенной системы, в которой показатель преломления крона больше показателя преломления флинта (такое сочетание необходимо для получения анастигматического плоского изображения).

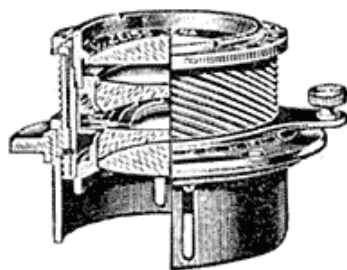
В 90-х годах XIX в. Аббе предложил конструкцию симметричного фотографического объектива-триплета типа "перископ", в котором крайние линзы были простыми, а средняя представляла собой ахроматическую пластинку, склеенную из трех линз; она предназначалась для коррекции сферической и хроматической аберраций. В 1893 г. Рудольф построил анастигмат-дублет, который можно считать



образцом объектива такого типа. В 1896 г. Рудольф рассчитал светосильный объектив "планар", имеющий фокусное расстояние 100 мм и относительное отверстие 1 : 3,3. В этом объективе была применена гиперхроматическая линза. В 1902 г. Рудольф создал известный во всем мире и употребляющийся до сих пор четырехлинзовый объектив "Тессар" (рис. 13).



**Рис. 13. Фотографический объектив П. Рудольфа «Тессар» и графики его aberrаций. Обозначения см. рис. 12**



После того как на основании теоретических и практических исследований был найден принцип ахроматизации оптических систем, а из работ Аббе выявилось значение апланатизма и апохроматизма, стали изготавливать оптические системы, почти достигающие те пределы, которые ставит перед оптикой волновая природа света.

## **Иммерсионные объективы**

Около 1860 г. известные немецкие оптики Е. Гартнак и Г. Мерц, следуя идее итальянского оптика Д. Амичи, стали создавать так называемые иммерсионные оптические системы, при употреблении которых в микроскопе между его объективом и покровным стеклышком вместо воздуха помещалась какая-нибудь жидкость, например вода, глицерин или маковое масло. В результате этого разрешающая способность микроскопа повышалась.

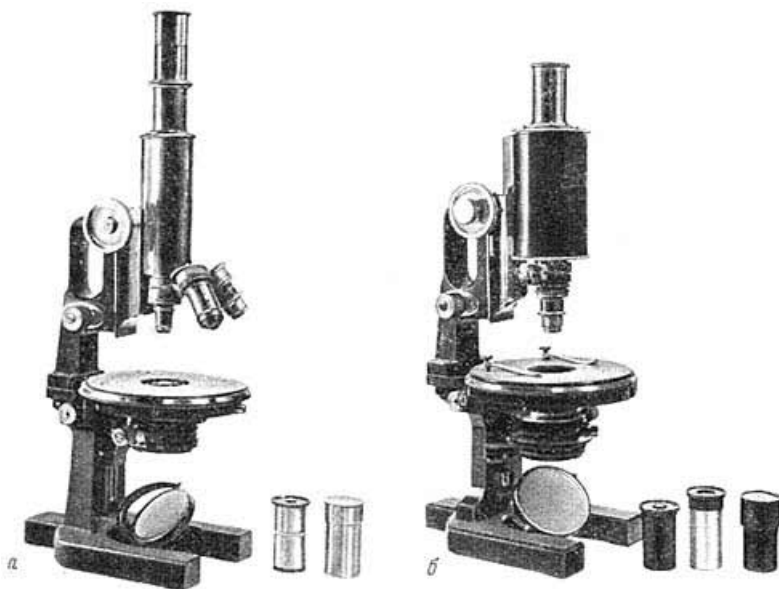
Говоря о первых иммерсионных системах Гартнака, известный микроскопист П. Гартинг писал в 1861 г.:

*"Гартнак в своей системе последовал примеру, данному Амичи в 1850 г., и поместил между покровным стеклом и свободной поверхностью нижней линзы объектива тонкий слой воды... Так как вода сильнее преломляет, чем воздух, то благодаря этому значительно ослабляется, или даже совсем пропадает, отражение света с поверхности объектива. Поэтому в микроскоп попадает большее количество лучей, и, таким образом, тонкий слой воды производит то же самое действие, что и увеличение*

*апертуры микроскопа. Это благоприятное действие сказывается преимущественно на краевых лучах, падающих наиболее косо... поэтому указанный слой должен повышать разрешающую способность микроскопа" [25].*

В 1878 г. Аббе совместно со Стефенсоном изготовили масляный иммерсионный объектив. Они назвали его объективом с гомогенной иммерсией. Этот объектив был рассчитан на применение в качестве иммерсионной жидкости кедрового масла и имел существенные преимущества перед объективом с водной иммерсией итальянского оптика Амичи. 10 января 1879 г. на оптическом заводе в Йене Аббе сделал доклад о новом, иммерсионном объективе и продемонстрировал возможности этого объектива [26].

Интересно отметить, что в коллекции микроскопов, экспонирующейся в Политехническом музее в Москве, имеется несколько микроскопов фирмы Карла Цейсса конца XIX в., объективы которых имеют гомогенную иммерсию (рис. 14).



**Рис. 14. Микроскопы Аббе, объективы которых имеют гомогенную иммерсию (Политехнический музей, Москва)**

*а* — образца 1898 г. (№ 44648); *б* — конца XIX в. (№ 44657)

На рис. 14, *а* изображен микроскоп 1898 г., расположенный на массивном подковообразном основании. Предметный столик микроскопа круглый. Он имеет устройство, позволяющее перемещать препараты в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Для отсчета величины передвижения имеются нониусы. Микроскоп снабжен тройным объективом револьверного типа, диафрагма ирисовая. Один из трех объективов отсутствует. На разных деталях микроскопа повторяется надпись: *C. Zeiss*. На

тубусе микроскопа имеется фирменная марка предприятия, номер 44648 и год 1898.

На рис. 14, б представлен микроскоп, расположенный на большом микрофотографическом штативе. Объектив микроскопа имеет салазочное приспособление, обеспечивающее ему хорошую устойчивость и центрировку. На тубусе микроскопа - заводская марка фирмы Цейсса и номер 44657. В комплект микроскопа входят четыре окуляра.

Создание во второй половине XIX в. иммерсионного объектива явилось крупным достижением в технике микроскопии. Исследователи получили в свои руки сильный объектив, который давал большое увеличение, не ослабляя освещения поля зрения. Масляная гомогенная иммерсия быстро завоевала всеобщее признание и обусловила успехи оптического приоростроения в последней четверти XIX столетия, что привело к новым научным открытиям, например в цитологии.

## **Осветительные аппараты**

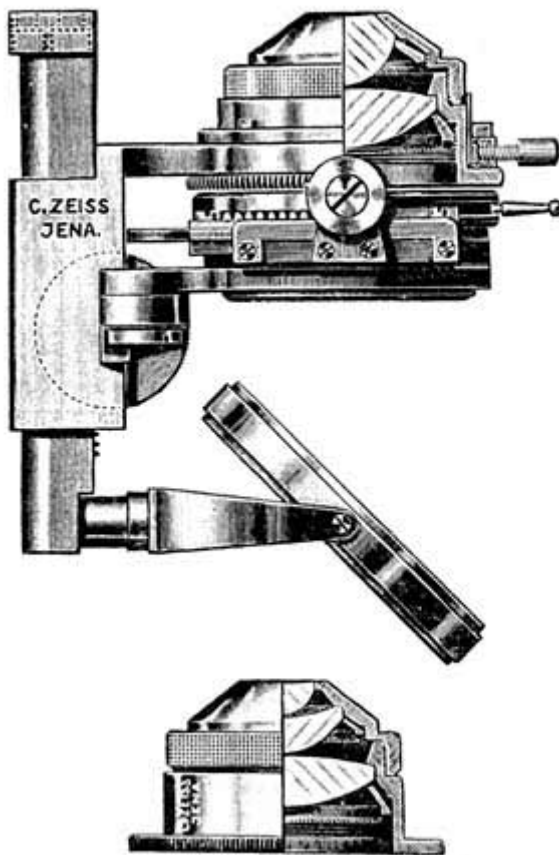
В 1872 г. Аббе занялся созданием осветительных аппаратов (конденсоров), при помощи которых можно было увеличить количество света, поступающего в микроскоп.

Необходимо отметить, что конденсоры пытались строить и до Аббе. Одно из первых описаний конденсора в виде плосковыпуклой линзы можно найти у Декарта [27].

Аналогичную конструкцию конденсора, располагаемого между зеркалом и объективом, предложил в XIX в. А. Дюжарден. У Гартнака конденсор содержит уже три ахроматических линзы. Но, безусловно, самым совершенным из конденсоров явился осветительный аппарат Аббе, изготовленный фирмой "Карл Цейсс" в 1872 г.

Осветительный аппарат Аббе (рис. 15) состоит из трех основных частей: осветительной системы линз, диафрагмы и зеркал. Все эти три элемента заключены в оправу. Осветительная система линз была разработана Аббе в двух вариантах. В первом случае она состояла из двух неахроматических линз: одной двояковыпуклой, другой - плосковыпуклой, обращенной к объекту наблюдения (плоская сторона этой линзы направлена вверх). Передний фокус такого конденсора находился лишь в нескольких миллиметрах над плоской поверхностью передней линзы объектива микроскопа. Апертура такого конденсора была 1,20.

Во втором случае конденсор Аббе состоял из трех линз, расположенных следующим образом: верхняя линза - плосковыпуклая (плоская сторона направлена к объективу), далее следовала вогнутовыпуклая линза (вогнутая сторона которой была обращена к передней линзе) и, наконец, третья линза была двояковыпуклой. Апертура такого конденсора составляла 1,40.



*Рис. 15.*  
Осветительный  
аппарат Аббе  
(1872 г.)

В своих осветительных аппаратах Аббе применял двойное отражательное зеркало, имеющее с одной стороны плоскую, а с другой - вогнутую зеркальные поверхности. Оно могло свободно вращаться в любом направлении около точки

крепления. Между зеркалом и осветительной системой приблизительно в плоскости ее нижнего фокуса Аббе расположил ирисовую диафрагму, которая могла откидываться в сторону, и, кроме того, ее можно было передвигать на небольшие расстояния вбок от оптической оси при помощи зубчатого колесика.

Для специальных целей, например для микрофотографии, Аббе разработал ахроматический конденсор оригинальной конструкции. Он также был снабжен ирисовой диафрагмой, расположенной между ахроматическими парами линз и приспособлением для их центрировки. Апертура этого конденсора была равна единице.

## **Оптические системы Аббе с асферическими поверхностями**

Вопрос о создании оптических систем, состоящих из линз с поверхностью, отличной от сферической, ставился и решался еще задолго до Аббе, на заре развития оптического приборостроения.

В 1637 г. Р. Декарт, зная об аберрациях оптических систем, в частности сферической, предлагал исправлять ее, придавая преломляющим поверхностям линз специально подобранную форму. Комбинируя гиперболические и эллиптические поверхности со сферическими, Декарт с помощью двух линз полностью исправлял сферическую аберрацию. Для придания линзе асферической поверхности



Декарт предложил оригинальную конструкцию шлифовального станка.

Вопросу исправления aberrаций посредством применения линз с асферическими поверхностями уделял внимание в раннем периоде своего творчества И. Ньютон. Д. Грегори и другие ученые для постройки своих телескопов пытались применять эллиптические и гиперболические зеркала.

Но изготовление линз и зеркал с асферическими поверхностями было связано с огромной затратой сил и времени, так как они делались вручную. На шлифовальных станках можно было получать только сферические линзы. Поэтому для изготовления линз с другими поверхностями были разработаны многочисленные конструкции различных шлифовальных станков.

В последние годы жизни Аббе заинтересовался возможностью использования асферических поверхностей в оптических системах для устранения их aberrаций. Он хорошо понимал, что оптические системы с асферическими поверхностями обладают в отдельных случаях существенными преимуществами перед обычными. Рассуждения его сводились к следующему: сферическая поверхность определяется полностью всего лишь одним параметром - ее радиусом кривизны, в то время как асферическая поверхность определяется ее меридиональной кривой, которая сама зависит от нескольких переменных. Чем большим числом независимых параметров обладает элемент оптической системы (например, линза), тем больше

возможностей для исправления многих аберраций сложной оптической системы.

Хотя Аббе запатентовал свою оптическую систему с асферическими поверхностями, реализовать ее при жизни ему не удалось (возникли многочисленные трудности чисто технического порядка: надо было осуществлять контроль формы поверхностей в процессе их обработки, создать ряд специальных станков для шлифовки и полировки линз с асферическими поверхностями и т.п.).

Асферические поверхности получили довольно широкое распространение в оптическом приборостроении только в середине XX в. Они используются при создании зеркальных и зеркально-линзовых систем, в конденсорах-осветителях, в фотографической оптике и т.п.

Применение параболических поверхностей оказалось очень плодотворным в лупах и очках, где они устраняют дисторсию, астигматизм, кому и сферическую аберрацию в гораздо большей степени, чем сложные дополнительные линзы с обычными сферическими поверхностями.

## **Анаморфотные оптические системы**

Процесс анаморфирования есть не что иное, как преднамеренное трансформирование изображения объекта оптическим, способом. Так, например, посредством анаморфирования изображения из круга можно получить овал, из квадрата - прямоугольник и т.п. [28]

Анаморфирование осуществляется с помощью специальных оптических систем - анаморфотов, представляющих собой чаще всего цилиндрические линзы. Применяя анаморфотные оптические системы, можно достигнуть равномерного сжатия или растяжения изображения в вертикальном или горизонтальном направлениях.

Впервые анаморфотные оптические системы были предложены Аббе в 1898 г. [29] Конструкция первой анаморфотной системы была осуществлена сотрудником Аббе - Рудольфом; она состояла из двух цилиндрических линз.

25 октября 1898 г. Аббе получил патент на изобретение анаморфотных оптических систем. В формуле изобретения говорилось:

*"Анаморфотная оптическая система, состоящая из сферических линз, цилиндрических линз и призм, или только из одних цилиндрических линз или из сферических линз совместно с цилиндрическими линзами, которые установлены определенным образом..." [30]*

Специфической особенностью анаморфотных оптических систем являлось наличие в них двух плоскостей симметрии (в отличие от обычных оптических систем, где имеется только одна такая плоскость). Это позволяло использовать анаморфотную систему в качестве очковых линз для исправления астигматизма глаз.

В настоящее время анаморфотные оптические системы нашли широкое применение в кинематографе. Благодаря им стало возможно использовать обычную киноаппаратуру и стандартную киноплёнку для съёмки и проекции широкоэкранных фильмов. При съёмке с применением анаморфотной насадки на обычном кинокадре получается изображение, сжатое по ширине. При проекции перед объективом кинопроекторного аппарата устанавливается анаморфотная насадка, которая состоит из положительной и отрицательной цилиндрических линз, образующие которых параллельны вертикальной оси кадра. Насадка при проекции на экран растягивает изображение, восстанавливая тем самым действительное соотношение размеров снятых сцен.

## **Аббе о функциях объектива и окуляра микроскопа**

Простейшие конструкции сложного микроскопа появились, как уже было сказано, ещё в XVII в. Состояли они из объективной и окулярной линз. Но какова функция объектива и окуляра микроскопа и какова их роль в образовании микроскопического изображения - на этот вопрос ответа долгое время не было. Было известно, что объектив микроскопа обращен к объекту наблюдения и дает его промежуточное изображение (действительное, увеличенное и перевернутое). Окуляр же служит лупой, с помощью которой рассматривается это промежуточное изображение. Окуляр дополнительно увеличивает промежуточное изображение и доводит его до размеров, при которых оно наблюдается под достаточно большим углом зрения.

Такое толкование функций объектива и окуляра микроскопа правильно отражало их роль в "увеличительном действии" микроскопа, однако оно не давало возможности оценить роль объектива и окуляра в процессе образования изображения. Именно этим вопросом заинтересовался Аббе. Он писал:

*"Усматривая задачу объектива в получении действительного изображения, а окуляра - в его дальнейшем увеличении, мы, несмотря на полезность такого представления, не вскрываем наиболее существенного в принципе сложного микроскопа. В результате приведенного выше толкования функций объектива и окуляра можно прийти к выводу, что их соединение предпринимается исключительно с целью получения необходимого увеличения, в то время как действительное преимущество сложного микроскопа перед наилучшим простым заключается главным образом в качестве изображения. Это характерно для всех увеличений, в том числе и для тех, которые легко достигаются с помощью простых микроскопов.*

*Где искать истинное значение принципа построения сложных микроскопов? Ответ на этот вопрос подсказывает тот факт, что во всех случаях создания сложных систем происходит характерное «разделение труда» между элементами системы в отношении фокусирующего действия и увеличения, причем так, что одну функцию принимает на себя объектив, а другую - окуляр. Объектив дает совершенное увеличенное*

*изображение объекта по закону образования изображения бесконечно малого элемента поверхности; окуляр изменяет сходимость отдельных световых пучков без заметных aberrаций, что характерно для бесконечно узких пучков. И наоборот, именно в объективе происходит изменение сходимости лучей большой апертуры, а в окуляре - увеличение поверхности изображения до больших угловых размеров.*

*Можно, однако, показать, что получение достаточно совершенного изображения больших угловых размеров при больших апертурных углах световых пучков в любом оптическом приборе может быть осуществлено лишь при условии разделения функций фокусирующего действия и увеличения изображения между составными частями оптической системы; следовательно, высокое качество изображения в микроскопе обусловлено главным образом этой стороной взаимодействия объектива и окуляра. При рассмотрении различий в функциях объектива и окуляра не следует считать, что объектив подает окуляру действительное промежуточное изображение; правильнее считать, что объектив сначала преобразует расходящиеся пучки в параллельные, после чего дополнительным преломлением в линзах эти пучки направляются к окуляру сходящимися.*

*Следствием такого рассуждения является особый способ схематического разделения системы микроскопа, который должен заменить обычный, принятый в настоящее время, особенно в том случае, когда рассматривается вопрос о*

*качестве изображения, даваемого микроскопом, и причинах, его обуславливающих.*

*В соответствии с новой схемой разделения микроскопа на два узла первый акт образования изображения заключается не в создании объективом перевернутого действительного изображения перед окуляром (или в нем), а в создании объективом бесконечно удаленного мнимого изображения, образованного пучками параллельных лучей. Второй акт охватывает дальнейший процесс образования изображения с угловыми размерами, соответствующими окулярному полю, и на расстоянии «наилучшего видения»; осуществляется этот акт преломлением лучей последними линзами объектива и преломлением в линзах окуляра. Первый акт образования изображения в микроскопе можно назвать «лупным» действием объектива, так как он соответствует действию обычной лупы, установленной перед глазом, аккомодированном на бесконечность. Второй акт соответствует действию зрительной трубы с малым размером отверстия объектива, для которой описанное выше бесконечно удаленное мнимое изображение служит объектом» [31].*

Мы видим, что соображения Аббе относительно структуры схемы микроскопа и функций ее отдельных частей отличаются большой ясностью и образностью: объектив выполняет функцию лупы, а окуляр - зрительной трубы. Собирающая линза совместно с окуляром образует зрительную трубу, с помощью которой рассматривается

находящееся в бесконечности изображение, даваемое объективом.

Схема микроскопа, разложенная на функциональные элементы по способу Аббе, имела и чисто практическое значение. В прошлом объективы и окуляры микроскопов маркировались произвольно. Это приводило к тому, что пользующийся микроскопом должен был определять общее увеличение микроскопа по специальным таблицам. Аббе заменил этот неудобный способ маркировки более рациональным, позволяющим легко находить общее увеличение микроскопа без вспомогательных средств.

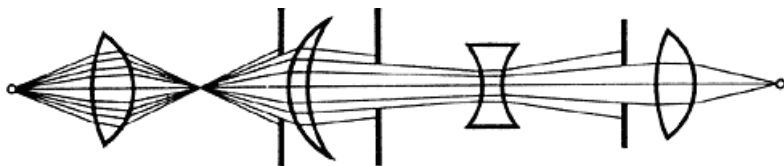
Для объективов Аббе предложил обозначения, включающие в себя, кроме апертуры, фокусное расстояние, исходя из которого легко определить "лупное" увеличение объектива. Для окуляров Аббе рекомендовал обозначения, соответствующие их увеличению, используя при этом целые числа.

## **Ограничение хода лучей в оптических системах по Аббе**

Идея единства теории и практики при конструировании оптических систем проходит красной нитью через всю творческую деятельность Аббе. Слова Аббе "нет практики без теории" были путеводной звездой в его работе. Именно теоретические рассуждения Аббе привели его к мысли о необходимости введения в оптическую систему различных



приборов (зрительных труб, микроскопов, фотообъективов и т.п.), специальных приспособлений - диафрагм, применяемых для ограничения пучков световых лучей (рис. 16). Для чего это было нужно?



**Рис. 16.** Ограничение хода лучей в оптических системах (рисунок Э. Аббе)

Аббе рассуждал следующим образом: для образования изображения в оптической системе нужны только те лучи, которые без задержки проходят через прибор до даваемого им изображения. Те же лучи, которые падают на оптическую систему и проходят только часть ее, задерживаясь, например, оправками линз, из которых состоит оптическая система, не только бесполезны, но и вредны, так как увеличивают светорассеяние и снижают контраст изображения.

Аббе понял, чтобы правильно рассчитать, построить и эксплуатировать оптический прибор, необходимо обеспечить в нем правильное ограничение пучков лучей. Для выбора диафрагмы, которая более всего ограничивала бы ширину пучков лучей, Аббе предложил строить изображения всех диафрагм (в том числе оправ и световых отверстий оптических деталей) в пространстве предметов

через часть оптической системы, расположенную между диафрагмами и плоскостью предметов.

Все изображения диафрагм Аббе условно принимал за воображаемые объекты, а за изображения - реальные диафрагмы оптической системы. Далее, Аббе строил изображения этих же диафрагм в пространстве изображений посредством части оптической системы, расположенной между диафрагмами и плоскостью изображений.

Чтобы определить, какая же из диафрагм более всего ограничивает ширину световых пучков, Аббе находил то изображение диафрагмы в пространстве объектов, которое от точки объекта, расположенной на оптической оси системы, будет видно под наименьшим углом. В этом случае лучи, идущие вне наименьшего угла, не могут достигнуть изображения предмета, так как они будут задержаны указанной диафрагмой. Изображение диафрагмы в пространстве объектов, видимое из центра предмета под наименьшим углом, Аббе назвал входным зрачком оптической системы.

Для отыскания диафрагмы, более всего ограничивающей сечение пучков лучей, прошедших через всю оптическую систему, Аббе предложил следующее: надо выбрать то изображение диафрагмы в пространстве изображений, которое из точки изображения на оптической оси системы будет рассматриваться под наименьшим углом. Такое изображение диафрагмы Аббе назвал выходным зрачком.

Развитие Аббе методов ограничения пучков лучей в оптических системах было новым шагом на пути конструирования все более и более совершенных оптических инструментов. Разработчик оптических приборов теперь мог теоретически рассчитать не только продольные габаритные размеры (вдоль оптической оси) будущего инструмента, но и получил возможность, пользуясь методикой Аббе, заранее рассчитать ее поперечные размеры и наиболее оптимальным образом выбрать диаметры линз и других оптических компонентов. Труды Аббе в области прикладной оптики и по сей день не потеряли своего значения, став классическими.

## Литература

1. *Bibl. Math.* 3. Folge. 1910, Bd. 10, H. 1, S. 293.
2. *Vacon R.* Opus Majus. Frankfurt am Main, 1964, Bd. II, S. 488.
3. *Гуриков В. А.* Становление прикладной оптики, XV-XIX вв. М.: Наука, 1983, с. 10-15.
4. *Maurolico Francesco da Messina.* Photismi de lumine et umbra. Neapoli, 1611.
5. *Декарт Р.* Рассуждение о методе с приложениями: Диоптрика, метеоры, геометрия. М.: Изд-во АН СССР, 1953, с. 155-156.
6. Там же, с. 361.
7. Там же, с. 361-364.
8. *Hevelius J.* Machinae Coelestis. Dantzig, 1673, p. 379-419.
9. *Huygens Cr.* Oeuvres completes de Cristian Huygens publiees par la Societe Hollandiase des Sciences. Haag, 1916, vol. XIII, fasc. 1/2, p. 84-102.
10. *Ньютон И.* Лекции по оптике. М.: Изд-во АН СССР, 1946, с. 19-20.
11. *Вавилов С. И.* Собр. соч. М.: Изд-во АН СССР, 1956, т. III, с. 315.
12. *Ньютон И.* Лекции по оптике, с. 134.
13. Там же, с. 135.
14. *Вавилов С. И.* Собр. соч., т. III, с. 287.

15. *Ньютон И.* Оптика, или Трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света. М.; Л.: Госиздат, 1927, с. 85-86.
16. *Вавилов С. И.* Собр. соч., т. III, с. 146.
17. *Pristley J.* History and present state of discoveries relating to vision, light and colours. L., 1772.
18. *Румовский С. Я.* Речь о начале и приращении оптики до нынешних времен. СПб., 1763.
19. Собрание сочинений, выбранных из месяцесловов на разные годы. СПб.: Акад. наук, 1787, ч. II, с. 290.
20. *Euler L.* Dioptrica. St-Petersbourg, 1769-1771. Т. 1-3.
21. *Euler L.* Lettres a une princesse... Petersbourg, 1772, t. III, p. 321.
22. *Aepinus F.* Description des nouveaux Microscopes, inventes par. Mr. Aepinus. St. -Petersbourg, 1784.
23. *Abbe E.* Gesammelte Abhandmgen. Jena, 1904, Bd. I, S. 200-205.
24. *Ibid.*, S. 203-208.
25. *Poggendorffs Annalen*, 1861, Bd. CXIV, S. 82.
26. *Auerbach F.* Ernst Abbe. Leipzig, 1918, S. 274.
27. *Декарт Р.* Рассуждение о методе с приложениями.
28. *Бегунов Б. Н.* Трансформирование оптических изображений. М.: Машиностроение, 1965.
29. *Abbe E.* Anamorphotisches Linsensystem. - Gesammelte Abhandmgen. Jena, 1906, Bd. II, S. 283-295.
30. *Abbe E.* Anamorphotisches Linsensystem. - Deutsche Patentschrift №99722, ausgegeben den 25. Oktober 1898.
31. *Abbe E.* Gesammelte Abhandlungen, Bd. I, S. 53-55.

# **Оптические измерительные инструменты Э. Аббе**

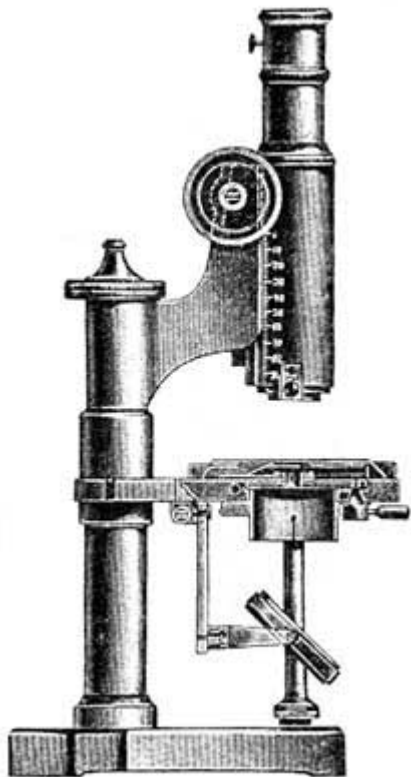
## **Инструменты для измерения характеристик оптических систем**

Во второй половине XIX в. в связи с расширением производства оптических приборов и инструментов появились и получили распространение инструменты, предназначенные для измерения основных характеристик оптической системы. К таким характеристикам относятся: фокусное расстояние, угол поля зрения и увеличение.

Для измерения фокусного расстояния в конце XIX в. применялся фокометр Аббе, предложенный им в 1891 г. [1]. Первое свое сообщение об этом приборе Аббе сделал 22 сентября 1891 г. на 64-м заседании Общества естествоиспытателей в Халле. Подробное описание фокометра было опубликовано в 1893 г. в каталоге "Оптические измерительные инструменты" оптического завода Карла Цейсса в Йене [2].

Измерение фокусного расстояния по методу Аббе было основано на определении увеличения для нескольких (не менее чем для двух) различных положений предмета,

находящегося на оптической оси испытуемой оптической системы. Общий вид фокометра Аббе, изготовленного на оптическом заводе Карла Цейсса в Йене в 1893 г., приведен на рис. 17.

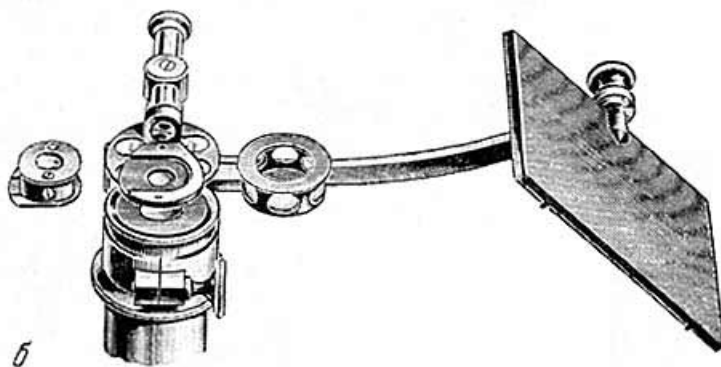
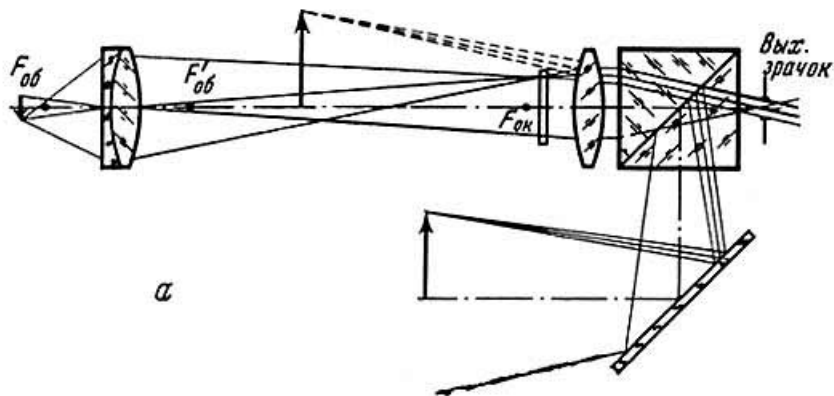


*Рис. 17. Фокометр Аббе*

Другой важной характеристикой оптической системы является ее увеличение. Для измерения увеличения микроскопа в конце XIX в. применяли рисовальный прибор Аббе (рис. 18), который устанавливали на микроскопе. При этом увеличение микроскопа определяли путем сравнения двух масштабных объектов - объект-микрометра с ценой деления шкалы 0,01 мм и масштабной линейки.

Конструктивно рисовальный прибор Аббе устроен следующим образом. В оправе, помещенной над окуляром микроскопа, находится стеклянный кубик, состоящий из двух прямоугольных призм. Одна из поверхностей призм имеет зеркальное покрытие, в середине которой имеется небольшой участок без покрытия. Через это "отверстие" могут свободно проходить лучи от объекта наблюдения к глазу. На некотором расстоянии от призм расположено зеркало, укрепленное за длинной ручке. Зеркало может вращаться около горизонтальной оси прибора.

При рисовании микроскопических объектов, наблюдаемых через микроскоп, поступают следующим образом. Бумагу располагают точно под зеркалом рисовального прибора. В этом случае лучи от бумаги (и карандаша) отразятся зеркалом рисовального прибора и пойдут до встречи с зеркальной поверхностью призмы и отразятся от нее в глаз наблюдателя. Одновременно глаз наблюдателя будет видеть через "отверстие" в зеркальной поверхности призмы прибора Аббе отчетливое изображение микроскопического объекта, которое и можно будет срисовать.



**Рис. 18. Рисовальный прибор Аббе**  
 а — оптическая схема; б — общий вид

После того как рисунок сделан, можно определить его увеличение, которое соответствует увеличению микроскопа.



Для этого нужно разделить диаметр рисунка (поле зрения микроскопа имеет вид круга и рисунок, поэтому также получается круглым) на диаметр рисуемого объекта. При этом первый диаметр определяется простой масштабной линейкой, а второй - при помощи окулярного микрометра микроскопа.

Два экземпляра рисовального прибора Аббе находятся в настоящее время в экспозиции Политехнического музея в Москве. Первый прибор находится в хорошем состоянии. Размер деревянного футляра, в котором находится прибор, 14·6,5·5,5 см. Второй аналогичный прибор находится в весьма плохом состоянии (испорчен коррозией).

Для определения числовой апертуры объектива микроскопа в конце XIX в. применяли апертометр Аббе (рис. 19), состоящий из полукруглой стеклянной пластинки с нанесенными на ней двумя шкалами и подвижными рамками. Прямая боковая сторона пластинки срезана под углом  $45^\circ$  к образующей цилиндра и служит плоским зеркалом, в котором отражается боковая цилиндрическая поверхность и срезы на подвижных рамках. Размеры прибора: радиус полукруга 4,5 см, размер футляра 18·8·4 см.

Апертометр Аббе устанавливался на предметном столике микроскопа (рис. 20) и фокусировался на малое отверстие, прорезанное в посеребренном кружке на верхней стороне

апертометра. Ось микроскопа должна при этом проходить

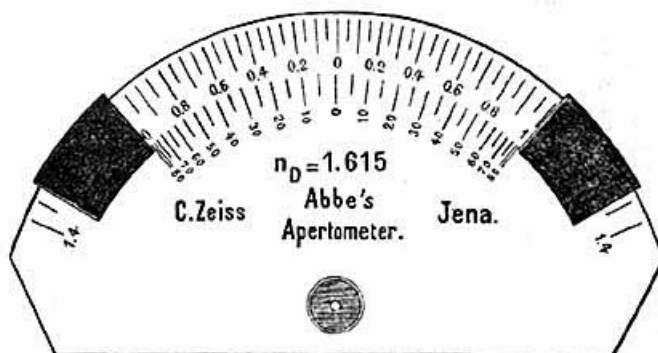


Рис. 19. Апертометр Аббе

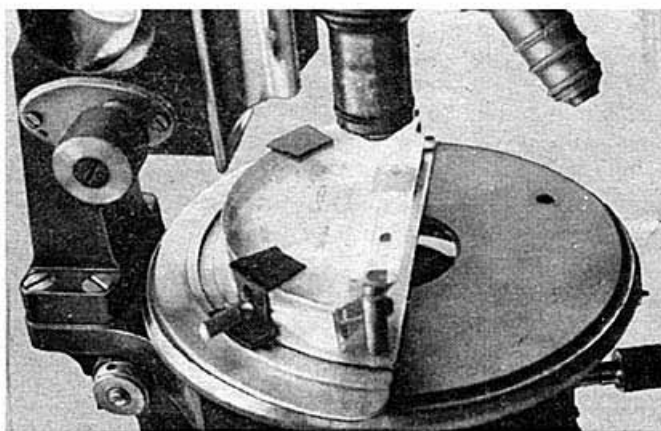


Рис. 20. Апертометр Аббе, установленный на предметном столике микроскопа конца XIX в. фирмы «Карл Цейсс» (Политехнический музей, Москва)

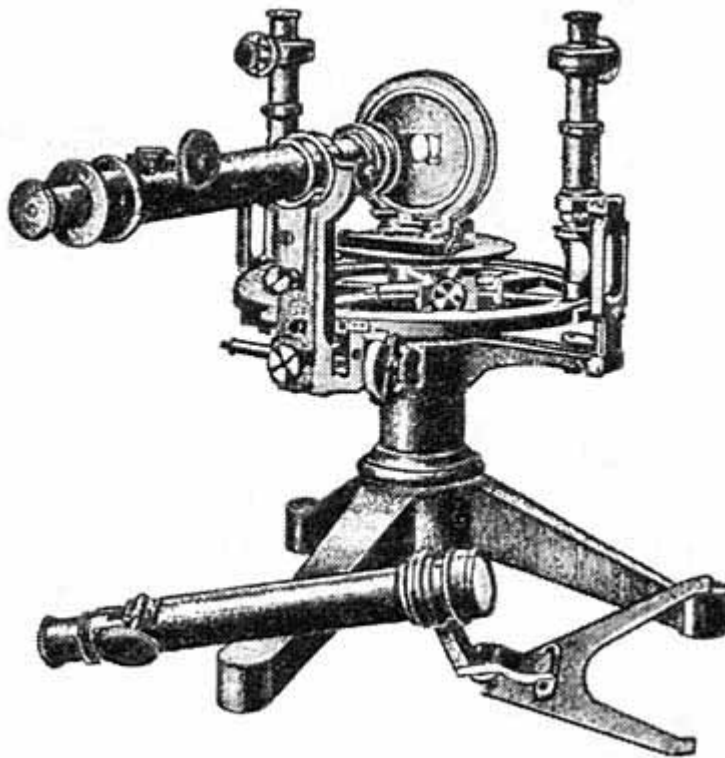
через центр упомянутого отверстия. Последнее будет иметь место, если при установке нити подвижной рамки на нулевое деление шкалы апертметра изображение креста, наблюдаемое глазом со стороны тубуса микроскопа, будет расположено точно по центру отверстия объектива.

Для определения апертуры передвигают подвижную рамку вокруг цилиндрической части апертметра, пока изображение перекрестия не попадет на край отверстия объектива. Берется отсчет по шкале апертметра с помощью нити, расположенной на подвижной рамке. При этом шкала апертметра показывает сразу значение числовой апертуры. Вторая шкала показывает апертуру в градусной мере. Для определения апертуры иммерсионных объективов микроскопов между испытуемым объективом и апертметром вводили каплю иммерсионной жидкости. Необходимо отметить, что апертметр Аббе и по сей день успешно применяется в практике оптических измерений.

## **Рефрактометры**

Во второй половине XIX в. в связи с расширением ассортимента оптических стекол возникла необходимость в точном измерении показателя преломления. До нас дошло немного сведений о конструкции первого рефрактометра. Известно, например, что в 1872 г. на заседании Йенского естественнонаучного медицинского общества Аббе продемонстрировал свой рефрактометр [3]. Сам Аббе так писал об изобретении этого прибора:

*"Я пользовался этим методом... с 1869 г. ...сконструировал специальные приборы - рефрактометры, которые дали возможность определять показатель преломления и, если необходимо, - дисперсию любого жидкого или полужидкого вещества с помощью простейших манипуляций. При этом*



**Рис. 21. Спектрометр Аббе**

*достаточно одной-единственной капли соответствующей жидкости, которая с увеличением толщины слоя может быть совершенно непрозрачной. Все наблюдение сводится к одной не требующей искусства установке и последующему отсчету по лимбу или шкале микрометра, который непосредственно дает значение искомого показателя преломления, т.е. без всяких расчетов. Ниже я даю подробное описание этого рефрактометра в виде трех разновидностей, предназначенных для разных целей... В заключение следует заметить, что все описанные в этой статье приборы были неоднократно изготовлены в оптической мастерской К. Цейсса в Йене и большинство из них уже в течение нескольких лет опробованы в работе как мною, так и другими" [4].*

Как же выглядели первые рефрактометры Аббе? По описанию 1874 г., составленному самим Аббе, они имели все признаки, присущие рефрактометру для измерения предельного угла: измерительная призма (двойная призма) для контакта с пробой, труба для наблюдения линии раздела, угломерное устройство и иногда компенсатор для устранения цветного ореола линии раздела,

Используя обратный ход лучей, Аббе впоследствии упростил конструкцию прибора. Он сделал диффузное освещение от протяженного источника, а коллиматор снабдил окуляром, превратив его в наблюдательную трубу. При такой схеме еще лучше стал виден переход от светлого к темному полю. В качестве компенсатора Аббе использовал призму Амичи, установленную перед объективом трубы.

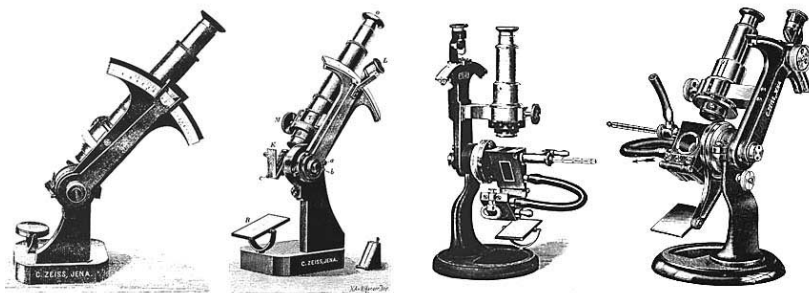
Лимб рефрактометра был градуирован не в угловых величинах, а в значениях показателя преломления.

Аббе сразу же оценил большое практическое значение своего рефрактометра.

*"Что касается возможностей применения для технических целей, - писал он, - то здесь следует назвать по меньшей мере две: во-первых, множество имеющихся в продаже жидких и полужидких веществ можно очень надежно разделить и проверить их чистоту по их показателям преломления; во-вторых, во многих случаях показатель преломления с большой точностью позволит определить состав смеси двух жидкостей, а также состав и концентрацию растворов" [5].*

Аббе, в частности, указывает на возможность измерения концентрации раствора сахара и сообщает, что его прибор уже снабжен дополнительной шкалой процентного содержания сахара и что благодаря этому *"содержание сахара в растворе можно надежно определить одним взглядом по одной капле жидкости с точностью около 0,2%" [5].*

Для самого Аббе рефрактометр был прежде всего средством для определения коэффициентов преломления оптических стекол и иммерсионных жидкостей.



### Рефрактометры Аббе, производившиеся фирмой Carl Zeiss в разные годы

Одни из рефрактометров Аббе хранятся в Политехническом музее. На массивном прямоугольном основании укреплена фигурная колонка, которая несет на себе набор стеклянных призм и оптическую трубку. Преломляющий угол основной призмы  $64^\circ$ . Помимо основной призмы, имеется дополнительная откидная призма с матовой гранью, которой она прикладывается к основной призме, образуя зазор толщиной около  $0,1$  мм. Этот зазор заполняется исследуемой жидкостью. Оптическая трубка вращается вокруг горизонтальной оси, и связанная с ней стрелка на круговой шкале отсчитывает величину показателя преломления. В оптической трубке имеется компенсатор из двух вращающихся спектральных призм прямого видения, позволяющий компенсировать дисперсию призм и исследуемой жидкости. Величина поворота компенсатора фиксируется при помощи шкалы и черточки на корпусе прибора. Точность измерения на рефрактометре Аббе  $(1-2) \cdot 10^{-4}$ . В Политехническом музее имеется еще три

аналогичных рефрактометра Аббе второй половины XIX в. с заводскими номерами: №44, 45, 53 [6].

## **Автоколлимационный метод Аббе**

Работая над проблемой измерения показателей преломления оптических стекол, Аббе предложил чрезвычайно оригинальный метод автоколлимации, получивший впоследствии название "метод Аббе".

К коллиматору (рис. 22) Аббе присоединил автоколлимационный окуляр, построенный по схеме Рамсдена. В плоскости сетки этого окуляра Аббе установил прямоугольную призму, предназначенную для освещения сетки. Тем самым Аббе создал измерительный прибор, применяемый для контроля плоскопараллельности и клиновидности различных оптических деталей, а также для измерения углов призм и клиньев.

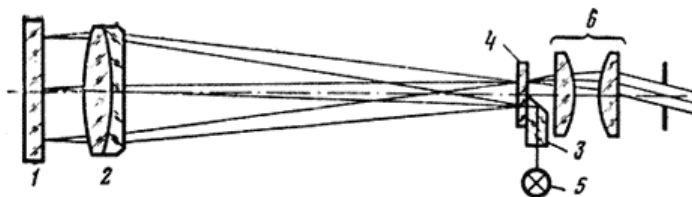
Автоколлимационный метод Аббе основан на принципе измерения преломляющего угла  $\beta$  призмы (рис. 23) и установке призмы в положение наименьшего отклонения, которое производится простым совмещением автоколлимационного изображения щели зрительной трубы от второй грани АВ призмы со штрихом сетки. Для усиления яркости отраженного пучка лучей от грани АВ последнюю серебрят.



Аббе получил следующее выражение для определения показателя преломления материала призмы:

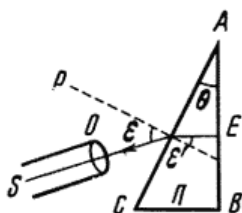
$$n = \sin \varepsilon / \sin \theta.$$

Дифференцируя полученную формулу по  $\varepsilon$ , получаем соотношение  $dn = (\cos \varepsilon / \sin \theta) d\varepsilon$ . Отсюда легко можно вычислить дисперсию стекла:  $dn = n \operatorname{ctg} \varepsilon d\varepsilon$ .



**Рис. 22. Автоколлиматор системы Аббе**

1 — полированная поверхность измеряемой оптической детали; 2 — объектив коллиматора; 3 — прямоугольная призма; 4 — измерительная сетка; 5 — источник света; 6 — окуляр Рамсдена



**Рис. 23. Измерение показателя преломления стекла с использованием автоколлимационного метода Аббе**

ABC — призма;  
S — зрительная труба спектрометра

Автоколлимационный метод, предложенный Аббе, позволяя также вычислять показатели преломления стекла для лучей различных цветов. Этот метод не потерял своего значения и

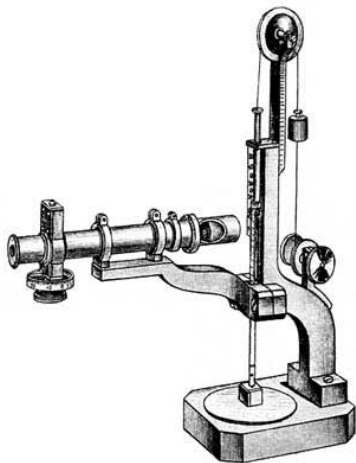
в наши дни. Он прочно вошел в практику оптических измерений.

## **Инструменты для измерения угловых и линейных величин**

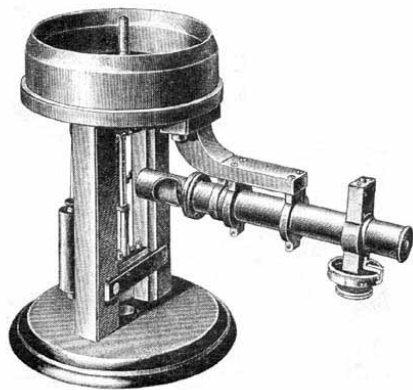
Кроме описанных выше оптических измерительных приборов, Аббе разработал конструкции контактного микрометра (рис. 24) и сферометра (рис. 25). Эти приборы предназначались для точного измерения длин различных предметов и радиусов кривизны линз.

Чем отличался контактный микрометр Аббе от применявшегося и получившего в то время широкое распространение штангенциркуля? При всех своих преимуществах штангенциркуль обладал весьма существенным недостатком: в случае расположения масштаба и измеряемого предмета не на одной прямой при измерении возникала ошибка первого порядка, величина которой была тем больше, чем больше при одних и тех же условиях было расстояние между предметом и масштабом.

Уменьшая это расстояние, мы будем уменьшать и возможную ошибку, которая делается равной нулю, когда предмет и масштаб, с которыми производится сравнение, будут расположены на одной прямой. Это положение было



**Рис. 24. Контактный  
микрометр Аббе**



**Рис. 25. Сферометр Аббе**

впервые высказано Аббе в 1890 г. на съезде в Бремене. Оно легло в основу устройства ряда измерительных приборов, сконструированных фирмой К. Цейсс в Йене.

Одним из таких приборов был контактный микрометр Аббе [7]. Устроен он был следующим образом. На достаточно массивном основании (рис. 24) расположена стойка с цилиндрическими или призматическими направляющими, вдоль которых под действием собственного веса может перемещаться с очень небольшим трением стальной стержень. Нижний конец этого стержня соприкасается с плоской поверхностью стеклянной или кварцевой пластинки, помещенной в соответствующем углублении основания. При помощи трех винтов верхняя

поверхность пластинки может быть установлена перпендикулярно к оси подвижного стержня. Для уменьшения давления, оказываемого стержнем на измеряемый предмет, положенный на пластинку, стержень снабжается противовесом. В верхней части стержня наносятся на протяжении 50 мм через 0,1 мм деления, которые отсчитываются в микроскоп, снабженный окулярным винтовым микрометром. Штрихи, соответствующие целым миллиметрам, отмечены цифрами. Микроскоп имеет 50-кратное увеличение. С задней стороны прибора помещено плоское зеркало, при помощи которого пучок лучей через отверстие в стойке может быть направлен параллельно плоскости пластинки. Общая ошибка измерения при использовании микрометра Аббе складывается из ошибок винта микрометра, ошибки при считывании делений шкалы, колебаний температуры и индивидуальных ошибок наблюдателя.

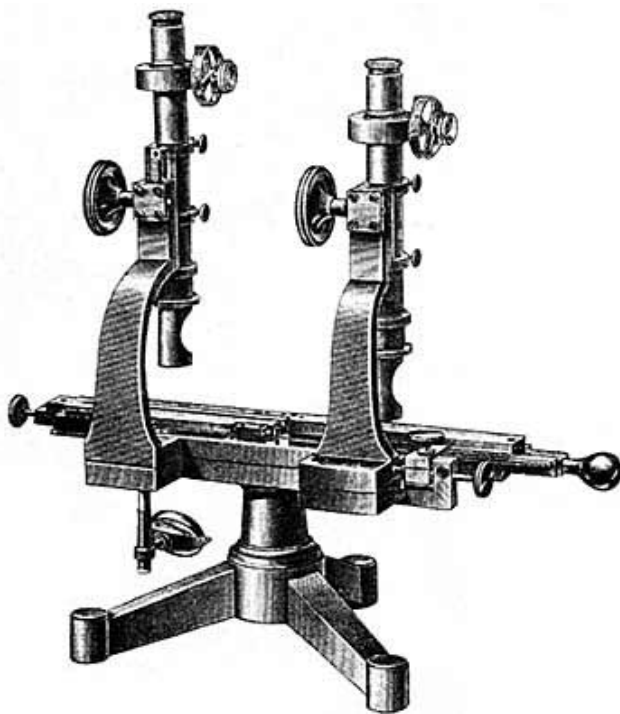
В дальнейшем фирмой Цейсса был выпущен устроенный на этом же принципе прибор, так называемый вертикальный компаратор, который позволял измерять объекты толщиной до 100 мм (рис. 26).

Создавая свой компаратор, Аббе предложил "принцип компарирования", состоящий в том, что при расположении оси контролируемого объекта на продолжении оси эталонной отсчетной шкалы прибора или параллельно ей ошибки измерения, вызванные несовершенством направляющих, имеют минимальные значения. При перекосе осей или направляющих, по которым

перемещаются объект и образцовая шкала, имеет место погрешность второго порядка:

$$\Delta L = L(1 - \cos \varphi) \approx 1 / 2 L \varphi^2,$$

где  $L$  - длина направляющей;  $\varphi$  - угол перекоса.



**Рис. 26. Вертикальный компаратор Аббе**

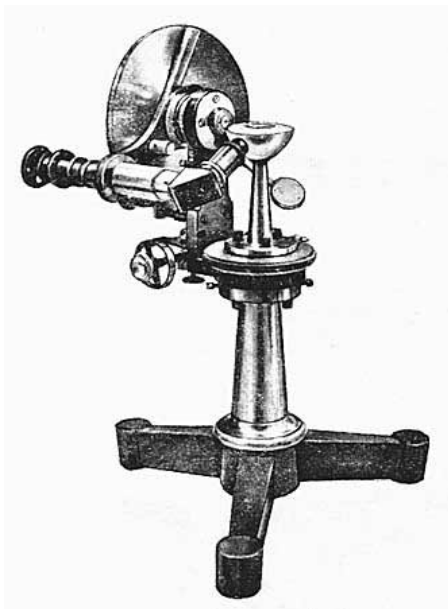
Согласно Аббе, погрешность второго порядка имеет место и при наклоне контролируемого объекта к оси визирного микроскопа, компаратора или измерительного микроскопа. Аббе установил, что погрешность первого порядка  $\Delta L = h \cdot \varphi$ , где  $h$  - расстояние от шкалы до точки крепления микроскопа, возникает при изгибе траверсы, несущей визирный и отсчетный микроскопы, когда перемещается предметный стол с объектом и образцовой шкалой, а также при изгибе и скручивании направляющих, по которым перемещаются микроскопы, когда контролируемый объект и образцовая шкала остаются неподвижными. Аббе обнаружил, что у приборов с параллельным расположением осей объекта и эталонной шкалы погрешность первого порядка имеет место при наклоне направляющих и зависит от расстояния между микроскопами.

В 1890 г. в журнале "Zeitschrift fur Instrumentenkunde" [8] была опубликована статья Аббе, содержащая описание сферометра (рис. 25), который по принципу действия мало отличался от описанного выше микрометра Аббе.

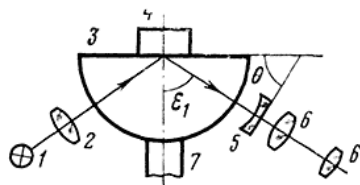
## **Кристаллорефрактометр**

Бурное развитие во второй половине XIX в. кристаллографии привело к необходимости создания специальных приборов, предназначенных для измерения показателей преломления кристаллов.

Для этой цели Аббе разработал конструкцию кристаллорефрактометра (рис. 27, 28).



*Рис. 27.* Кристаллорефрактометр Аббе



*Рис. 28.* Принцип действия кристаллорефрактометра Аббе

Кристаллорефрактометр Аббе состоит из полусферовой линзы **3** с полированной плоской поверхностью, фиксированной вдоль вертикальной оси **7**, зрительной трубы **6** с вертикальным лимбом и осветителя **1-2** с монохроматическим источником света **1** и конденсором **2**. Для создания требуемого хода лучей перед объективом

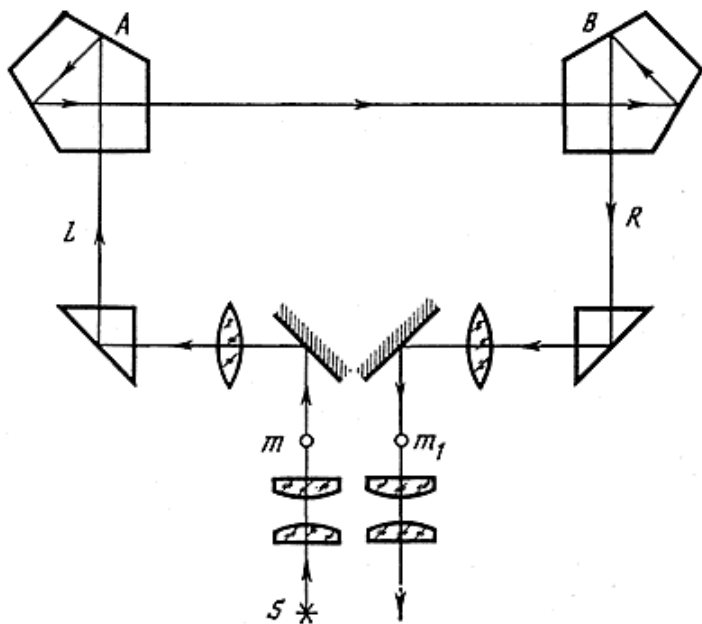
зрительной трубы установлена плосковогнутая линза 5 с радиусом кривизны поверхности, равным радиусу полусферической линзы, образующая вместе с полусферической линзой призму с переменным преломляющим углом 6. Плосковогнутая линза соединена со зрительной трубой и вращается одновременно с нею. Полусферическая и плосковогнутая линзы изготовлены из одной марки стекла с большим показателем преломления (около 1,8). Точность измерения показателя преломления  $n$  на кристаллорефрактометре Аббе имеет порядок  $10^{-4}$ .

## Стереодальномер

Важными оптическими приборами, предназначенными для точного измерения расстояний, являются дальномеры. В 1893 г. Аббе получил немецкий патент за №73568 на дальномер с выверочным приспособлением (рис. 29). Конструируя свой дальномер, Аббе рассуждал следующим образом: показания дальномеров определяются правильным и безотказным действием многих его частей; незначительные изменения, например перемещения этих частей в результате вибрации прибора, приводят к значительной величине ошибки измерений. Естественным поэтому было создать такое приспособление, которое позволяло бы каждый раз осуществлять проверку дальномера на точность работы. Предложение Аббе заключалось во введении в систему дальномера устройства внутренней выверки.



Выверка дальномера Аббе состояла в том, что одним глазом наблюдатель смотрел в правый окуляр и определял, насколько точно при включении обеих пентапризм левая марка т совпадает с правой маркой (рис. 29). Производство оптических стереодальномеров Аббе было налажено на фирме Цейсса в конце XIX в.



**Рис. 29.** Оптическая схема стереодальномера Аббе (1893 г.)

# Литература

1. *Czapski S.* Methode und Apparat zur Bestimmung von Brenweiten (Fokometer) nach Abbe. - Zeitschr. Instrumentenk., 1892, Bd. XII, S. 185-197.
2. Catalog uber optische Messinstrumente der optischen Werkstalte von Karl Zeiss in Jena, 1893, N 18, S. 27-29.
3. *Abbe E.* Apparate zur Bestimmung des Brechungsexponenten und der Dispersion von Ftissigkeiten: Vortrag auf der 45. Versammlung deutscher Naturforscher und Arzte am 13.8 1872 in Leipzig. - Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906, Bd. II, S. 236-238.
4. *Abbe E.* Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreungsvermogens fester und ftissiger Korper. Jena, 1874, S. 79.
5. *Ibid.*, S. 78.
6. Майстров Л. Е. Приборы и инструменты исторического значения: Микроскопы. М.: Наука, 1974, с. 86-87.
7. *Abbe E.* Messapparate fur Physiker. -Gesammelte Abhandlungen, Bd. II, S. 206-211.
8. Zeitschr. Instrumentenk., 1890, Bd. X, S. 446-448.

## Глава пятая

# Социально-политическая и общественная деятельность Э. Аббе

В Аббе гармонично сочетались талант исследователя, хорошего организатора производства и общественного деятеля.

Фирма "Карл Цейсс" в конце XIX в. превратилась в типичное монополистическое предприятие. Сохранились архивные документы и письма [1], которые свидетельствуют о том, что Аббе постоянно занимался вопросами, связанными с поиском наиболее подходящей формы организации созданного им, Цейссом и Шоттом предприятия. Но прежде чем перейти к рассказу об особенностях организации фирмы "Карл Цейсс", необходимо вкратце остановиться на политико-социальных взглядах Аббе.

Вначале несколько слов об отношении Аббе к государству. В государстве он видит *"высочайшую из форм человеческого общежития, стремящуюся содействовать культурному развитию всего народа посредством государственного правового порядка"* [2]. Чтобы как-то загладить основное противоречие капиталистического общества, связанное с общественным способом производства и частнособственническим характером присвоения результатов труда, Аббе предлагает государству проводить

политику, которая смягчала бы классовую борьбу. Аббе писал:

*"Только государство, являющееся представителем и выразителем интересов всего общества и противостоящее интересам отдельных лиц и отдельных классов, может создать правовые гарантии, способствующие тому, что результатом экономической борьбы между сильным и слабым является общее благо"* [3].

По своим политическим взглядам Аббе был типичным реформистом, призывающим к *"плодотворным социальным реформам, с корнем вырывающим зло... без ниспровержения существующего общественного и хозяйственного порядка"* [4]. Основными моментами реформистской программы Аббе были: налоговое законодательство, охрана труда и народное просвещение.

В вопросе налогового законодательства Аббе придерживался следующего требования:

*"Отмена всякого обложения трудовых доходов. Все потребности государства и империи должны удовлетворяться за счет чистого налога с капитала; этот налог для всех более крупных состояний устанавливает прогрессивно растущие ставки обложения, соответствующие приблизительно проценту, взимаемому в данный момент по земельным ипотекам. Мера эта должна быть проведена для того, чтобы использовать часть процентной прибыли, получаемой на весь национальный капитал, для нужд государства"* [5].

Аббе требует отмены "процента на капитал" в современной ему форме и считает необходимым передачу "чистого процента на капитал" в пользу государства.

По мнению Аббе, *"классовые противоречия возникают не между трудом и капиталом, ибо имущие лишь постольку являются капиталистами, поскольку их хозяйственный доход включает в себя чистый процент на капитал. Но предприниматель наряду с процентом на капитал получает также и предпринимательскую прибыль, а эта последняя покоится на трудовой деятельности предпринимателя"* [6]. Согласно Аббе, частная собственность является при всех обстоятельствах неприкосновенной, но отдельные правовые отношения (например, налоговая система) подлежат изменению.

Другим программным требованием, выдвигаемым Аббе, является вопрос о народном образовании. Здесь Аббе выступает сторонником планомерного привлечения всех одаренных слоев населения к участию в руководстве общественной и хозяйственной жизнью общества.

Определенный интерес представляют рассуждения Аббе об отношении промышленного предприятия к государству. Аббе требует заменить личное владение крупным предприятием безличным коллективным владением.

По мнению Аббе, его учреждение (фондовая организация "Карл Цейсс") *"отстаивает не интересы капитала, а коллективный интерес и не считается с интересами"*

каждого отдельного сотрудника" [7]. Основное назначение своего предприятия Аббе видит в следующем:

*"Учреждение должно всегда заботиться о выполнении великих социальных обязанностей, которые, по моему убеждению, лежат на всех предприятиях крупной промышленности и в особенности на данном предприятии, ибо оно в течение долгого времени будет находиться в исключительно выгодном экономическом положении. Границы этих обязанностей и величина вытекающих отсюда издержек должны определяться не требованиями существующего законодательства и не взглядами предпринимательских кругов, а степенью успешности предприятия, позволяющей удовлетворить основному требованию: по мере возможности устранить из данного предприятия те отрицательные социальные последствия, которые обычно сопровождают частнохозяйственное развитие промышленности" [8].*

Предпринимательские прибыли, по мнению Аббе, должны служить для целей охраны труда на предприятии и для поддержания жизни тех рабочих, которые потеряли трудоспособность на производстве.

Основная идея Аббе об использовании процента, получаемого с вложенного в предприятие капитала, на общепользные цели была несовместима с экономическими законами современной ему капиталистической системы. Судьбу своей идеи сам Аббе выразил следующими словами:

*"Никакой человек, стремления которого хотя бы несколько опережают существующие отношения и общепринятые взгляды, не может рассчитывать чего бы то ни было достигнуть, если идеи его остаются долгое время в противоречии с господствующими идеями его времени. То, что долгое время остается изолированным, в конце концов будет увлечено общим потоком" [9].*

Несмотря на то что идеи Аббе не были претворены в жизнь, заводы фирмы "Карл Цейсс" продолжали быстро развиваться. Это объясняется тем, что успехи, достигнутые фирмой Цейсса, создали ей монопольное положение на капиталистическом рынке оптических приборов. В письмах Аббе можно встретить рассуждения об исключительном положении его предприятия:

*"Наши товары не подлежат действию конкуренции... Репутация наших товаров и их исключительная ценность дают возможность назначить за них более высокую продажную цену" [10].*

Пытаясь найти новую организационную форму для предприятия, Аббе пришел к идее создания фондовой организации. При этом, по мнению Аббе, владельцем капитала фирмы становилась фондовая организация.

В 1896 г. Аббе написал специальный "Устав", в котором провозглашались основные цели и задачи фондовой организации "Карл Цейссе-Штифтунг". В первом параграфе этого устава указывалось, что задачами фондовой организации являются:

*"Постоянная забота об экономической гарантии названных предприятий, а также сохранение в дальнейшем достигнутого уровня промышленной организации труда как источника существования многочисленного круга лиц и как полезного звена в осуществлении научных и практических интересов... Выполнение больших социальных обязанностей по отношению к коллективу работающих сотрудников, с целью улучшения их общественного, экономического и правового положения..." [11].*

Рабочее время согласно уставу ограничивалось 8 часами (после 1900 г.); каждому рабочему полагался ежегодный отпуск на 12 дней. Наряду с основной заработной платой предусматривалась дополнительная прибавка.

*"Процент этой прибавки к заработной плате, - писал Аббе, - следует определять таким образом, чтобы, после приведения всех хозяйственных колебаний к среднему уровню, установилось определенное соотношение между той долей, которую получает данное лицо в доходе предприятия, и между той долей, которую получает учреждение" [12].*

Аббе считал, что предприятие должно заботиться о сохранении здоровья его рабочих и служащих. Пенсии он также причислял к основным расходам предприятия. Параграф 77 устава предусматривал выплату выходного пособия в случае потери работы:

*"Служащие, мастера и рабочие предприятий, учреждения, достигшие 18 лет и проводившие на службе у предприятия не менее трех лет, имеют право потребовать от фирмы выдачи вознаграждения в случае потери места; это вознаграждение выплачивается в том случае, если*



*расторжение договора последовало со стороны фирмы и не было вызвано их неспособностью к продолжению службы или какой-либо провинностью с их стороны" [13].*

Такое пособие, соответствующее последней ставке рабочего, выдавалось на протяжении полугода.

Эту часть устава Аббе считал исключительно важной, *"ибо эти положения обозначают для меня завершение важной части всей моей жизненной работы. Я убежден, что выраженные здесь стремления в чрезвычайно большой степени способствовали развитию предприятия и что дальнейшее осуществление их является главным условием дальнейшего прогресса" [14].* В 122 параграфах своего "Устава" Аббе определил права и обязанности всех сотрудников фирмы: как служащих дирекции, так и инженеров, мастеров и рабочих предприятий.

Что толкнуло Аббе на создание фондовой организации? Ответ на этот вопрос нетрудно найти, если вспомнить ту острую классовую борьбу, которая проходила в конце XIX - начале XX в. на всех заводах и предприятиях Европы. Аббе был крайне заинтересован в ликвидации классовой борьбы на своем предприятии, сведении ее к минимуму. Новая организационная форма, предложенная Аббе на заводе Цейсса, преследовала вполне конкретную цель: создать иллюзию принципиального изменения капиталистической собственности на средства производства на предприятиях фирмы "Карл Цейсс".

На самом же деле предприятие "Карл Цейсс" было подвержено действию тех же объективных законов капиталистического способа производства и, в частности, стремилось получать максимальную прибыль при минимальных затратах. Рабочие фирмы Цейсса находились в тех же условиях капиталистической эксплуатации, что и рабочие других фирм и предприятий.

Устав, предложенный Аббе для его фондовой организации, обеспечивал ее руководству практически неограниченные полномочия. В Аббе боролись противоречивые чувства: с одной стороны, он был типичным представителем эксплуататорского класса и соответственно относился к рабочим, а с другой - стремился улучшить условия их жизни.

Надо отметить, что созданная Аббе фондовая организация оказала положительное влияние на культурную, экономическую и научную жизнь Йены. Благодаря средствам организации "Карл Цейсс" Йенский университет стал в конце XIX - начале XX в. первоклассной школой высококвалифицированных кадров. В Йене были построены: детская больница, бассейн, стадион и другие спортивные сооружения, открыты народный дом культуры, библиотека, детский санаторий и техникум глазной оптики.

Аббе был убежденным атеистом. Это подтверждает то, что он категорически отказался венчаться в церкви. В те времена это расценивалось как вызов обществу. Дети Аббе, несмотря на протесты родственников и тестя, не были крещены.

Эрнст Аббе был чрезвычайно скромным человеком. Он никогда не носил орденов, они хранились у него в домашнем сейфе. Громкими званиями и почетными титулами он никогда не пользовался. Подписывал все документы и деловые бумаги просто: "*Эрнст Аббе*". Только из траурной речи по случаю кончины Аббе многие узнали о том, что он был почетным гражданином города Йены.

В последние годы своей жизни Аббе состоял в либерально-демократической партии. Он был убежденным противником национализма.

Умер Аббе 14 января 1905 г. в Йене в возрасте 65 лет.

Сразу же после смерти Аббе его ученики и друзья выразили единодушное желание увековечить его память. Был создан специальный комитет, который рассмотрел различные проекты памятника Аббе. Для создания его были приглашены архитектор, профессор Ван де Вельде и художник-график Макс Клиндер. 30 июля 1911 г. в Йене состоялось торжественное открытие памятника Аббе, который представляет собой монументальное сооружение, выполненное в виде восьмиугольного склепа. Внутри него возвышается художественно оформленный мраморный монумент, на трех гранях которого расположены великолепные резные барельефы. На первом из них изображены главные итоги научной деятельности Аббе (усовершенствование микроскопа). Второй барельеф отражает успехи Аббе в астрономии. Третий - символизирует собой тесную связь науки и техники.

В целом монумент представляет собой великолепный памятник прекрасному ученому, инженеру и человеку Эрнсту Аббе.

## Литература

- 1 *Kuhnert H.* Der Briefwechsel zwischen Otto Schott und Ernst Abbe uber optisches Glas. Jena, 1946.
- 2 *Rosental E.* Ernst Abbe und seine Auffassung von Staat und Recht. Jena, 1910, S. 7.
- 3 *Abbe E.* Sozialpolitische Schriften. Jena, 1906, S. 37.
- 4 *Ibid.*, S. 6.
- 5 *Ibid.*, S. 8.
- 6 *Ibid.*, S. 33.
- 7 *Вейс Г.* Аббе и Форд: Капиталистические утопии. М.; Л., 1928, с. 37.
- 8 Цит. по кн.: *Auerbach F.* Ernst Abbe, sein Leben und Wirken. Leipzig, 1919, S. 352.
- 9 *Abbe E.* Sozialpolitische Schriften, S. 92.
- 10 *Ibid.*, S. 134-135.
- 11 *Abbe E.* Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1940, Bd. V, S. 67.
- 12 Цит. по кн.: *Вейс Г.* Аббе и Форд. Капиталистические утопии, с. 59.
- 13 Там же, с. 60.
- 14 Цит. по кн.: *Auerbach F.* Ernst Abbe, sein Leben und Wirken. Leipzig, 1919, S. 379.

## Заключение

К творчеству Аббе вполне подходят слова: *"Только тот ученый достигает подлинных успехов в своей работе, кто чутко прислушивается не только к голосу своего собственного «я», но и к запросам действительности..."*\*. Научная деятельность Аббе всегда отвечала как потребностям своего времени, так и требованиям ускорения научно-технического прогресса. Ее результаты остаются актуальными и в наш век научно-технической революции.

\* Соколовская З.К. 300 биографий ученых. М.: Наука. 1982, с. 17

Будучи страстным борцом за научный прогресс, воодушевленный идеей поставить науку и технику на службу человечеству, Аббе всегда видел в науке большую производительную силу. Идея тесного и чрезвычайно плодотворного союза науки и техники в решении той или иной практической задачи была путеводной звездой в творчестве Аббе. В 1896 г. по случаю празднования пятидесятилетнего юбилея фирмы "Карл Цейсс" Аббе выступил с речью, в которой эта же идея была передана такими словами: *"Теперь только дилетант мог бы начать строить паровую машину, не зная совершенно точно, сколько лошадиных сил она разовьет, когда ее, точно выполненную по чертежам, впервые пустят в ход. И ни один железнодорожный мост не будет построен, пока его создатели еще до того, как будет добыта руда для изготовления его конструкций, точно не смогут сказать, на*

*сколько сантиметров он прогнется, когда три или четыре года спустя по готовому мосту пойдут первые поезда" \*.*

Аббе считал, что теория не должна испытывать никаких ограничений, если она тесно связана с практикой. В то же время он показал, что когда теория поднимется до уровня непосредственной производительной силы, то требования к ней возрастают.

Представляется, что самым главным в творчестве Аббе было то, что он всегда думал о той конкретной, практической пользе, которую принесет то или иное его изобретение или открытие. Попробуем в какой-то степени определить место работ Аббе в развитии научно-технических основ оптического приборостроения.

1. Аббе внес фундаментальный вклад в развитие теории образования изображения в микроскопе.
2. Благодаря трудам Аббе получила дальнейшее развитие теория аберраций оптических систем. Им было установлено важное соотношение, получившее название закона синусов Аббе.
3. Развитие Аббе методов ограничения пучков лучей в оптических системах явилось новым шагом на пути конструирования более совершенных оптических инструментов.

\* Цит. по журн.: Йенское обозрение, 1975, Прил., с. 2.

4. Созданные по проектам Аббе во второй половине XIX в. инструменты для измерения основных характеристик оптических систем подняли производство оптических приборов на более высокий уровень.

5. Аббе был инициатором организации научно-исследовательских работ в области получения новых сортов оптического стекла, что в значительной степени способствовало достижению того успеха, которым пользовались оптические приборы и инструменты фирмы "Карл Цейсс".

6. Создание Аббе во второй половине XIX в. иммерсионных объективов явилось крупным достижением в технике микроскопии.

Для современного оптика жизнь и творчество Аббе являются достойным примером для подражания. Многие его идеи продолжают оставаться актуальными и будоражат умы ученых и в наши дни. В любом современном учебнике по курсу "Прикладная оптика" вы найдете раздел, посвященный дифракционной теории Аббе образования изображения в микроскопе.





## Основные даты жизни и деятельности Э. Аббе

- 1840** 23 января родился в Эйзенахе в семье заводского рабочего (ткача)
- 1846** Поступление в народную школу 1850 г. - переход в реальную гимназию в Эйзенахе 1857 г. - окончание гимназии, поступление в Йенский университет
- 1859** Продолжение учебы в Гёттингенском университете 1861 г. - получение ученой степени доктора.  
Ассистент в Гёттингенской обсерватории. Доцент в физическом обществе во Франкфурте-на-Майне.
- 1863** Получение должности приват-доцента Йенского университета
- 1866** Поступление в оптико-механические мастерские Карла Цейсса
- 1867** Создание фокометра - прибора для измерения фокусных расстояний
- 1869** Разработка осветительной аппаратуры микроскопов; создание рефрактометра и апертметра
- 1870** Получение должности экстраординарного профессора Йенского университета
- 1871** Создание дифракционной теории формирования изображения в микроскопе.

Вступление в брак с Эльзой Снель

- 1873** Избрание членом Академии естествоиспытателей в Галле
- 1874** Разработка новых сортов оптического стекла
- 1877** Получение должности директора Йенской обсерватории
- 1878** Избрание почетным членом Королевского общества микроскопистов в Лондоне.  
Присвоение звания почетного профессора Йенского университета
- 1879** Установление научных связей с Отто Шоттом
- 1880** Совместная работа с Шоттом над исследованием оптических свойств стекла. Получение новых сортов оптического стекла
- 1882** Избрание почетным членом Бельгийского общества микроскопистов в Брюсселе
- 1883** Присуждение степени почетного доктора медицины университета Галле - Виттенберга
- 1884** Награждение орденом "Белого Сокола" первой степени.  
Участие в основании Йенского "Общества свободомыслия".  
Основание совместно с Шоттом и Цейссом "Стеклохимической лаборатории"
- 1886** Завершение расчетов новых апохроматических объективов
- 1887** Назначение членом Имперского физико-химического ведомства

- 1889** Участие в основании фондовой организации "Карл Цейсс - Штифтунг"
- 1891** Член дирекции фирмы "Карл Цейсс" 1896 г. - избрание членом-корреспондентом Академии наук в Берлине по отделению физики и математики
- 1899** Избрание почетным членом Королевского фотографического общества Великобритании
- 1900** Избрание иностранным членом-корреспондентом Австрийской академии наук в Вене по отделению математики и естествознания
- 1901** Избрание почетным членом Саксонской академии наук. Избрание почетным членом Королевского научного общества в Гёттингене. Избрание членом-корреспондентом Комитета оптических стандартов в Бирмингеме
- 1903** Избрание почетным членом Общества приращивания в Дрездене. Избрание почетным членом Королевского Ордена науки и искусства в Баварии. Уход с поста члена дирекции фирмы "Карл Цейсс"
- 1905** Эрнст Аббе скончался 14 января

## Статьи и выступления Э. Аббе

1861	1. Erfahrungsmässige Begründung des Satzes von der Äquivalenz zwischen Wärme und mechanischer Arbeit: Inaug. - Diss. Göttingen, 1861.
1862	2. Kollimatormire auf dem Paulsturm. - Jahresbericht des physikalischen Vereins in Frankfurt, 1861/62. 3. Vorschlag zu einer veränderten Einrichtung der Meridian-instrumente. - Jahresbericht der Physik, Frankfurt, 1861/62.
1863	4. Über die Gesetzmässigkeit in der Verteilung der Fehler bei Beobachtungsreihen: Habilitationsschrift. Jena, 1863.
1870	5. Über einen Spektralapparat am Mikroskop. - Jenaer Zeitschrift für Medizin und Naturwissenschaften, 1870, Bd. V.
1871	6. Über die Bestimmung der Lichtstärke optischer Instrumente mit besonderer Berücksichtigung des Mikroskops usw. - Jenaer Zeitschrift für Medizin und Naturwissenschaften, 1871, Bd. VI.
1872	7. Apparate zur Bestimmung des Brechungsindex und der Dispersion von Flüssigkeiten. - Tageblätter der Naturwissenschaften in Leipzig: (Referat).
1873	8. Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung. - Schultzes Archiv für Mikroskopie, Anatomie, 1873, Bd. IX. 9. Über einen neuen Beleuchtungsapparat am Mikroskop. - Schultzes Archiv für Mikroskopie, Anatomie, 1873, Bd. IX.
1874	10. Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens fester und flüssiger Körper. - Jenaer Zeitschrift für Medizin und Naturwissenschaften, 1874, Bd. VIII. 11. Schmidt W. Die Brechung des Lichts in Gläsern usw. - Jenaer Literatur-Zeitung, 1874. 12. Die Lichtbrechung im Wasser usw.: (Referat). - Jenaer Literatur-Zeitung, 1874.

1878	<p>13. Die optischen Hilfsmittel der Mikroskopie. - In: Aus dem Bericht über den wissenschaftlichen Apparate an der Londoner internationalen Ausstellung im Jahr 1876. Braunschweig, 1878.</p> <p>14. Über mikrometrische Messung mittelst optischer Bilder. - In: Sitzungsberichte der Jenaer Gesellschaft für Medizin und Naturwissenschaften. Jena, 1878.</p> <p>15. Über Blutkörperchen-Zählung. - In: Sitzungsberichte der Jenaer Gesellschaft für Medizin und Naturwissenschaften. Jena, 1878.</p>
1879	<p>16. Über Stephenson's System der homogenen Immersion bei Mikroskop-Objektiven. - In: Sitzungsberichte der Jenaer Gesellschaft für Medizin und Naturwissenschaften. Jena, 1879.</p> <p>17. Über die Bestimmung der Brechungsverhältnisse fester Körper mittels des Refraktometers. - In: Sitzungsberichte der Jenaer Gesellschaft für Medizin und Naturwissenschaften. Jena, 1879.</p> <p>18. Über die Bestimmung von Zeit und Polhöhe aus Beobachtungen in Höhenparallelen. - In: Sitzungsberichte der Jenaer Gesellschaft für Medizin und Naturwissenschaften. Jena, 1879.</p> <p>19. Über einen mikrometrischen Apparat. - Vierteljahresschrift der astronomischen Gesellschaft, 1879, Bd. XIV.</p> <p>20. Über neue Methoden zur Verbesserung der sphärischen Korrektur, angewandt an der Konstruktion von Objektiven grosser Apertur. - Journal of the Royal Microscopical Society, 1879, vol. 2.</p> <p>21. Über die Bedingungen des Aplanatismus der Linsensysteme. - In: Sitzungsberichte der Jenaer Gesellschaft für Medizin und Naturwissenschaften. Jena, 1879.</p>
1880	<p>22. Some remarks on the Apertometer. - Journal of the Royal Microscopical Society, 1880, vol. III.</p> <p>23. Beschreibung eines neuen stereoskopischen Okulars nebst allgemeinen Bemerkungen über die Bedingungen mikrostereoskopischer Beobachtung. - Zeitschrift für Mikroskopie. 1880, Bd. II.</p> <p>24. Über die Grenzen der geometrischen Optik, mit Vorbemerkungen über die Abhandlung "Zur Theorie der Bilderzeugung" von Dr. R. Altmann. - In: Sitzungsberichte der Jenaer Gesellschaft für Medizin und Wissenschaften. Jena. 1880.</p>
1881	<p>25. On the conditions of orthoscopic and pseudoscopic effects in the binocular microscope. - Journal of the Royal Microscopical Society, 1881, vol. I.</p>

	26. On the estimation of aperture in the microscope. - Journal of the Royal Microscopical Society, 1881, vol. I.
1882	27. Referat: Galileo Ferraris. Die Fundamenteigenschaften der dioptrischen Instrumente. - Zeitschrift für Instrumentenkunde, 1882. 28. The relation of aperture and power in the microscope. - Journal of the Royal Microscopical Society, 1882, vol. II.
1884	29. On the mode of vision with objectivs of wide aperture. - Journal of the Royal Microscopical Society, 1884, vol. IV. 30. Note on the proper definition of the amplifying power of a lens or a lens-systeme. - Journal of the Royal Microscopical Society, 1884, vol. IV.
1886	31. Ober neue Mikroskope. - In: Sitzungsberichte der Jenaer Gesellschaft für Medizin und Naturwissenschaften, Jena, 1886.
1887	32. Gedachtnisrede auf Joseph Fraunhofer. - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906, Bd. II. 33. Die Lehre Von der Bildentstehung im Mikroskop. Braunschweig, 1910.
1888	34. Nachruf auf Carl Zeiss. - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena. 1906, Bd. II.
1889	35. On the effect of illumination by means of Wide-angled cones of light. - Journal of the Royal Microscopical Society. 1889, vol. IX.
1890	36. Ober die Verwendung des Fluorits für optische Zwecke. - Zeitschrift für Instrumentenkunde, 1890, Bd. 16. 37. Messapparate für Physiker. - In: Verhandlungen der Gesellschaft der Naturwissenschaftler und Ärzte in Bremen. Leipzig, 1891.
1891	38. Methode zur Ermittlung zeitlicher Variationen der Lotlinie. - Astronomische Nachrichten, 1891, Bd. 127.
1892	39. Doppelprisma für Refraktometer: Deutsche Patentschrift № 65803.
1893	40. Fernrohr mit weitabliegendem Augenpunkt: Deutsche Patentschrift № 67823. 41. Apparat zur Bestimmung der Brennweite von Linsensystemen (Fokometer). - In: Katalog von Carl Zeiss. Jena, 1893.

1894	<p>42. Justiervorrichtung für Entfernungsmesser mit zwei Fernrohren: Deutsche Patentschrift № 73568.</p> <p>43. Ober die Entstehung von Kometen und Meteoriten aus Planeten. - Sirius: Zeitschrift für populäre Astronomie, 1894, Bd. 22.</p> <p>44. Welche sozialen Forderungen soll die freisinnige Volkspartei in ihr Programm aufnehmen? - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906, Bd. III.</p> <p>45. Doppelfernrohr: Deutsche Patentschrift № 76735.</p> <p>46. Doppelfernrohr mit vergrößerterem Objektivabstand: Deutsche Patentschrift № 77086.</p>
1895	<p>47. Stereoskopischer Entfernungsmesser: Deutsche Patentschrift № 82571.</p> <p>48. Motive und Erläuterungen zum Entwurf eines Statuts der Carl-Zeiss-Stiftung. - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906, Bd. III.</p>
1896	<p>49. Statut der Carl-Zeiss-Stiftung zu Jena. - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906, Bd. III.</p> <p>50. Motive und Erläuterungen: Nachtrag zum zweiten Entwurf des Statuts. - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906, Bd. III.</p> <p>51. Gedächtnisrede zur Feier des 50-jährigen Bestehens der optischen Werkstätte. - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906, Bd. III.</p>
1897	<p>52. Ober Gewinnbeteiligung der Arbeiter in der Grossindustrie. - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906, Bd. III.</p> <p>53. Ober die Grundlagen der Lohnregelung in der optischen Werkstätte. - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906, Bd. III.</p>
1898	<p>54. Zur Frage der Sonderbesteuerung des Konsumvereins. - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen, 1906, Bd. III.</p> <p>55. Anamorphotisches Linsensystem: Deutsche Patentschrift № 99722.</p>
1899	<p>56. Ober Folgerungen aus dem Interferenzprinzip, ausgearbeitet von Straubel. - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906, Bd. II.</p>
1900	<p>57. Vorrichtung zur Betrachtung oder Wiedergabe eines Radteiles von einem durch ein Linsensystem entworfenen Bilde: Deutsche Patentschrift № 109091.</p> <p>58. Gedächtnisrede auf Hermann Schaffer. - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906, Bd. II.</p> <p>59. Die rechtswidrige Beschränkung der Versammlungsfreiheit im Grossherzogtum Sachsen. - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena,</p>

	<p>1960, Bd. HI.</p> <p>60. Ergänzungsstatut zum Statut der Carl-Zeiss-Stiftung. - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen, Jena. 1906, Bd. III.</p> <p>61. Die Verfassung der Carl-Zeiss-Stiftung. - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906, Bd. III.</p>
1901	<p>62. Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Verkiirzung des industriellen Arbeitstages. - In: Abbe E. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906, Bd. III.</p> <p>63. Linsensystem mit Korrektion der Abweichungen schiefer Buschel: Deutsche Patentschriften № 119915.</p>
1902	<p>64. Verfahren, spharoidische Flächen zu prüfen und Abweichungen von der vorgeschriebenen Gestalt nach Lage und Grosse zu bestimmen: Deutsche Patentschrift № 131536.</p>
1904	<p>65. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1904. Bd. I. Abhandlungen über die Theorie des Mikroskops.</p>
1906	<p>66. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1906. Bd. II. Wissenschaftliche Abhandlungen aus verschiedenen Gebieten: Patentschriften. Gedachtnisreden.</p>
1921	<p>67. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1921. Bd. HI. Sozialpolitischen Schriften.</p>
1928	<p>68. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1928. Bd. IV. Unveröffentlichte Schriften des wissenschaftlich- technischen Inhalts: Arbeiten zum Glaswerk zwischen 1882 und 1885.</p>
1940	<p>69. Gesammelte Abhandlungen. Jena, 1940. Bd. V. Werden und Wesen der Carl-Zeiss-Stiftung: An der Hand von Briefen und Dokumenten aus der Gründungszeit (1886-1896).</p>



## Из переписки Э. Аббе

Письмо Аббе к Шотту от 3 августа 1879 г.

Я считаю большой удачей то, что Вам удалось получить пробные расплавы в небольших тиглях такого качества, что допустимо проведение полного оптического исследования продукта. Фейль, являющийся знаменитым и опытным специалистом по варке стекла, еще не прислал мне подобных расплавов, которые позволяли провести хотя бы приближенное определение средней дисперсии, не говоря уже о надежном нахождении частной дисперсии, что я уже сделал, используя один из Ваших образцов, и надеюсь сделать с помощью остальных образцов. Мне кажется, что важнейшей предпосылкой прогресса в деле изготовления оптических стекол является возможность получения практически пригодных пробных расплавов (т.е. таких расплавов, оптические характеристики которых можно определить). Дело в том, что только такой путь открывает дорогу для проведения методичных экспериментов. До тех пор, пока приходится изготавливать все образцы весом 60-80 фунтов только для того, чтобы сделать приемлемую призму для проведения исследований, не может быть и речи о систематическом изучении новых комбинаций. По моему мнению, Ваши эксперименты, несмотря на негативные результаты, представляют большую ценность, чем случайное открытие нового сорта стекла с замечательными свойствами.

С наилучшими пожеланиями

Преданный Вам Э. Аббе

Письмо Аббе к Шотту от 20 декабря 1880 г.

Глубокоуважаемый господин доктор!

Прошу извинить меня за то, что я совершенно упустил из виду Ваш запрос относительно известного устройства для проведения микроскопических наблюдений. Что касается самого вопроса, то господину д-ру Цейссу было непонятно, что препятствовало визуальному исследованию аберраций. (Ваша книга еще не вышла, поэтому ее нельзя использовать для выяснения во всех подробностях существа вопроса.) Между тем, мне следовало бы сообщить Вам, а именно это я и намеревался сделать, что, конечно, ничто не препятствует применению металлической подставки для штатива микроскопа и соединению обычно все еще необходимой стойки для экрана с его корпусом. В дальнейшем для соответствующих целей можно было бы использовать только штативы с ножками в форме подковы (простое заклинивание подковы).

Далее, хотя и нелегко сделать съемный предметный столик, но в этом случае последний ни в коем случае не помешал бы (по крайней мере в случае штативов Цейсса) опусканию тубуса до достаточно низкого положения, что необходимо при установке объекта на уровне, расположенном ниже уровня стола (опускание производится через отверстие в столе). Если Ваша книга не выйдет в ближайшее время и Вы не хотите больше откладывать выполнение задуманного, то тогда Вам нужно, не касаясь конкретно конструкции, по меньшей мере предоставить данные о размерах, которых следует придерживаться. Необходимо знать:

1. Полное расстояние по высоте между плоскостью опоры ножки осветительной лампы и уровнем препарата.
2. Какой просвет должен быть оставлен между препаратом и нижней плоскостью предметного столика микроскопа, для того чтобы можно было вставлять в промежуток необходимые экраны, которыми можно

было бы манипулировать с помощью кронштейна, установленного на боковой части корпуса.

Тогда удалось бы определить остальные параметры.

Теперь что касается плана, затронутого в Вашем последнем полученном мной послании, то я им чрезвычайно заинтересовался, и всеми силами хотел бы содействовать Вам в выполнении задуманного. Не стану, однако, скрывать, что, по моим соображениям, выполнение плана будет связано со значительными трудностями, а именно: нужны большие затраты капитала и в начальной стадии придется использовать неоплаченный труд. О том, что подобное предприятие не обещает легкого успеха, свидетельствует также тот факт, что увеличившиеся за последние десятилетия сбыт оптических стекол и их производство, однако, полностью остаются в руках немногих старых фирм в Париже и Англии. Фактически оптическое стекло для проведения научных исследований поставляют только Х. Фэйль (Париж) и братья Ченс (Бирмингем). Хотя в Париже существуют еще несколько фирм, занимающихся варкой стекла (например, фирма братьев Розетт), но об их достижениях ничего не известно. Они, кажется, поставляют продукцию исключительно парижским предприятиям (очки, небольшие зрительные трубы, театральные бинокли и т. п.). Выпуск продукции Даге (по-моему, фирма располагалась в Золотурне) прекратился с его смертью, хотя изделия Даге, без сомнения, наиболее широко применялись преимущественно в телескопах. Несмотря на то, что основанная Фраунгофером и Утцшнейдером в Бенедиктбейерне фирма по варке стекла, по-видимому, продолжает работу под руководством Мэрца, однако, продукция идет только на удовлетворение своих собственных нужд, да и то с сомнительной пользой, если вспомнить о качестве изделий.

Насколько я знаком с положением дел в Германии, единственная дальнейшая попытка создать мастерскую по производству стекол полностью провалилась. После смерти Даге, примерно десять лет тому назад, будто бы обученный самим Даге и долгое время работавший у

него француз или швейцарец, основал в Брэдовсау, в маркграфстве, предприятие по варке стекла. Деньги на создание предприятия предоставил некий господин фон Брэдов. Оно так и не встало на ноги, несмотря на то, что владелец в течение нескольких лет получил примерно 100 000 талеров. (Следует добавить, что этот владелец, говорят, был необразованным человеком и сомнительным руководителем.) Из сказанного, во всяком случае, понятно, что подобные предприятия, если рассматривать их с деловой точки зрения, должны иметь под собой солидную основу. Разумеется, не было недостатка в попытках преуспеть в данной области, так как высококачественные стекла, кронгласы, флинты, используемые, например, в объективах фотоаппаратов, стоят у Фэйля 10-12 франков за килограмм, в Бирмингеме продажная стоимость уже вдвое выше, а стоимость тяжелых флинтов в Париже доходит до 60 франков за килограмм и более. Прежде всего нужно накопить большой практический опыт, чтобы только достичь уровня качества стекол, выпускаемых в настоящее время Фэйлем и Ченсом. А ведь это необходимо, чтобы успешно конкурировать с последними в области качества и стоимости продукции.

Что касается потребления оптических стекол и спроса на них, то с коммерческой точки зрения нужно учитывать только потребление оптических предприятий, выпускающих очки, ручные зрительные трубы, театральные бинокли и фотоаппараты. Только в данной отрасли имеет место широкое применение оптических стекол, которое могло бы служить коммерческой основой функционирования предприятия по варке оптического стекла. Стекло для астрономических целей (рефракторы больших размеров и т.п.) стоит чрезвычайно дорого (два безупречных стекла типа кронглас и флинт для объектива диаметром 20 см стоят у Ченса, например, 450 марок, диаметром 30 см - 1 400 марок, диаметром 50 см - 10 000 марок). Тем не менее, потребность в таких стеклах в Германии очень незначительна, и, вообще, процесс изготовления подобной отборной продукции может быть рентабельным только в том случае, если возможен выбор из большого количества изделий, выпускаемых для обычных целей. Естественно, расход материалов при изготовлении микроскопов совершенно несуществен

(исключая обычное стекло для очков), поэтому предприятие едва ли может функционировать рентабельно даже в том случае, если бы удалось изготавливать для подобных целей специальное стекло, за которое оптики могли бы (и были бы готовы) заплатить произвольно высокую цену.

При данных обстоятельствах новое предприятие могло бы быть жизнеспособным только в том случае, если оно в состоянии конкурировать со старыми предприятиями, выпускающими продукцию, находящую массовый сбыт. Таким образом, новое предприятие должно изготавливать обычные распространенные виды стекла, за которые Ратенов, Брауншвейг, Нюрнберг, Мюнхен ежегодно выплачивают многие тысячи марок за границу, причем поставлять продукцию по ценам, по меньшей мере равным стоимости товаров в Париже.

Мне кажется, что производство одного специального изделия могло бы стать удачным начинанием, при условии, что это изделие вполне четко отличается в лучшую сторону от своих предшественников. Такой продукцией вполне может быть магниальное стекло. Несмотря на то, что магниальное стекло, выпускавшееся ранее Даге, обладает очень хорошими свойствами (я проводил исследования этого стекла), но в решающих пунктах (величина и ход дисперсии) несущественно отличается от стандартных типов кронгласа.

Привлечь иностранный капитал для участия в создании подобного предприятия будет в условиях Германии весьма затруднительно. Я не имею представления, как можно было бы осуществить подобную операцию. По моему мнению, не следует полностью исключать возможность получения средств для организации предприятия из общественных источников. Однако я думаю, что было бы полностью бесперспективным предпринимать какие-либо конкретные шаги в этом направлении, прежде чем у нас будет некоторая основа, дающая известную гарантию успеха. Мне кажется, что такую основу можно создать, если Вам удастся либо изготовить кронглас и флинт известного типа (пусть даже в малом количестве), качество которых сделало бы

продукцию конкурентоспособной, или же если Вам удастся получить некоторый новый сорт стекла (возможно, в виде нескольких небольших образцов), использование которого в оптике принесло бы значительную выгоду, и сделало бы вероятным процесс успешного изготовления этого нового вида стекла в больших количествах при высоком качестве продукции. В первом случае основанием получения помощи из общественных источников может служить стремление организовать производство оптического стекла внутри Германии и тем самым освободить немецкую промышленность от иностранной зависимости. Во втором случае оправданием требования поддержки частного предприятия могло бы служить стремление внести вклад в развитие практической оптики и, таким образом, способствовать развитию науки.

Если я не ошибаюсь, я уже раньше обрисовал Вам те направления, в которых следует производить разработку новых видов оптических стекол.

Нужен кронглас, который имеет значительно меньшую среднюю дисперсию, чем известный теперь кронглас, или же который характеризуется более высоким значением коэффициента преломления при той же дисперсии.

Необходим флинт (или кронглас), дисперсия которого при относительном переходе от красной области спектра к голубой в большей степени согласуется с дисперсией кронгласа (флинта), т. е. который имеет меньшую вторичную хроматическую аберрацию. Нужен флинтглас с высокой дисперсией, но с незначительной средней рефракцией.

Я убежден, что для развития оптики проводить работы в данном направлении следует не на стекольном заводе, а сначала в химической лаборатории. Проблема заключается в том, чтобы в малом масштабе методически исследовать оптические свойства и влияние на них различных оснований и кислот, причем в дальнейшем необходимо разработать такой метод, который позволил бы осуществить настолько

полную гомогенизацию небольших пробных расплавов, чтобы можно было изготовить призму, пригодную для проведения исследований.

Таково мое мнение по спорному вопросу. Мне будет весьма приятно, если мои соображения смогут в какой-либо форме быть для Вас полезными.

С наилучшими пожеланиями

Преданный Вам Э. Аббе

*P.S.* Вероятно, возникнут трудности при попытках узнать что-либо о производстве оптического стекла за границей. Насколько мне известно, как в Париже, так и в Бирмингеме процесс производства хранится в тайне.

Письмо Аббе к Шотту от 24 декабря 1880 г.

Глубокоуважаемый господин доктор!

Я весьма сожалею, что пропустил момент выхода Вашей книги. Мой книготорговец не прислал мне ее вовремя. Однако я получу ее через несколько дней, и можно ожидать, что устройство будет создано сразу же после Нового года. Пока что придется подождать, так как мой ассистент в отъезде, а у меня нет времени самому сконструировать пробный образец данного устройства.

Что касается остального, то, прежде всего, мне хотелось бы добавить к моему последнему письму, что я совершенно не хотел отговорить Вас от осуществления предложенного Вами плана. Напротив, я решительно поддерживаю всякого, кто с технической и научной точек зрения подготовлен к осуществлению подобного предприятия, и советую

приступать к выполнению задуманного, если только имеется какая-либо перспектива создать нужную материальную основу - известный капитал, абсолютно необходимый для начала дела. Дело в том, что я не сомневаюсь, что образованному, знакомому с обычной техникой изготовления стекол человеку удастся благополучно преодолеть все трудности, которые возникают в процессе практического производства оптических стекол, и что впоследствии предприятие будет давать высокую прибыль. Мне хотелось только выразить свое мнение, что, помимо, необходима известная материальная поддержка. Если речь идет об изготовлении обычных сортов стекол, то, понятно, что нельзя даже в малых масштабах начать новое дело, если только не преследуется цель превзойти старые предприятия (пусть для начала только в Германии) и завоевать тем самым место на рынке сбыта. Нужно рассчитывать на то, что, несмотря на все усилия пройдет известное время, прежде чем удастся завоевать определенные позиции, и предприятие станет давать прибыль. Я мало что понимаю в технологии производства стекол, так что мне трудно судить, какое количество капитала потребуется для создания установки и поддержания ее работы в первое время. Возможно, я переоцениваю трудности. С другой стороны, я делаю вывод о практических трудностях, которые сначала придется преодолеть, на основании того факта, что до сих пор ни одна попытка такого сорта не увенчалась успехом. Вероятно, это объясняется тем, что среди производителей стекла лишь у немногих кругозор простирается за пределы кругозора ремесленника. Кроме того, только немногие имеют оборудование для осуществления подобной попытки. Ведь я уже указывал, что неудача предприятия в Брэдовсау ни о чем не говорит, так как неудача, возможно, обусловлена только некомпетентностью предпринимателя. Таким образом, пусть Вас не смущают мои замечания, если Вы знаете какой-либо способ осуществить задуманный Вами проект.

Другой путь - ориентировать производителей стекла на достижение новых целей и приобрести, тем самым, квалификацию, на основе которой можно было бы создать свое предприятие, - связан, разумеется, с двумя существенными преимуществами. Во-первых, при этом можно в интересах практической оптики надеяться на реальный научный



прогресс. Во-вторых, имеется перспектива достичь реального успеха при относительно небольших затратах материальных средств. Дело в том, что при таких условиях попытку можно было бы считать успешной, если бы удалось получить даже в небольших количествах новые расплавы с ценными оптическими свойствами. На основе подобного успеха возникли бы вполне обоснованные перспективы раздобыть необходимый капитал для успешного продолжения дела, возможно, даже получить для достижения указанных целей помощь из общественных фондов. Мои надежды на последнее основываются на том, что необходимость поощрения производства оптических стекол признается многими известными учеными, я имею в виду нескольких влиятельных господ в Берлине. Я думаю, удалось бы даже привлечь непосредственно Берлинскую академию, если появится кто-либо, кто сможет сказать: "Смотрите, я умею делать нечто новое и лучшее, и я смогу организовать производство новой продукции, если получу средства". Было бы, однако, преждевременно предпринимать какие-нибудь шаги в этом направлении, прежде чем удастся представить определенные практические достижения, которые могли бы служить гарантией конечного успеха.

По моему мнению, экспериментальная область, которую требуется разработать, представляет собой *tabula rasa*. Все, что было сделано в области экспериментального определения оптических свойств новых расплавов стекла, по крайней мере все, что известно, представляется мне совершенно лишенным практической ценности, так как эксперименты проводились бессистемно и без точного установления фактов. Это касается также единственного известного мне большого эксперимента, проведенного примерно 20 лет назад в Англии. После опубликования сообщения в журнале "Report of the British Association" по поручению ряда английских ученых там (у братьев Ченс) были проведены эксперименты по получению расплавов стекла с использованием некоторых новых оснований и кислот (среди прочего применялась титановая кислота), которые оказывали положительное влияние на характеристики вторичного спектра. Данные о соответствующих константах, однако, были столь неточными, что едва ли можно ожидать проведения точных измерений. Позднее где-то было опубликовано, что

ожидания не подтвердились: объектив, снабженный такими стеклами, не обнаружил преимуществ по сравнению с другими объективами. Из сказанного следует, что не может быть и речи о точном определении искомого результата. Либо предварительные наблюдения были проведены неправильно, либо практическое выполнение упомянутого объектива оказалось неудовлетворительным.

К сожалению, я потерял записи, касающиеся того сообщения, и хотя я по этому поводу еще прошлым летом послал письмо в Англию, мне не удалось узнать, в каком годовом комплекте журнала "Reports" опубликована статья. Однако, как я уже сказал, мне не верится, что публикация содержит в себе какую-либо практически интересную информацию. По моему мнению, внести вклад в дело развития оптики с помощью использования новых материалов можно только на основе проведения методичных экспериментов. Следует пытаться приготовить возможно более простые соединения возможно большего количества кислот и оснований, а именно испробовать многократно варьируемые комбинации с целью установления того факта, как каждое основание и каждая кислота влияют на оптические свойства. При этом дело вовсе не в том, чтобы непосредственно применить данный пробный материал в оптическом устройстве. Достаточно, чтобы этот пробный материал представлял собой расплав, относительно которого можно предположить, что его допустимо использовать в качестве составляющей стеклянных расплавов. Вполне достаточно также, чтобы пробный материал был относительно чистым и однородным, что необходимо для проведения точных измерений. При этом также не нужно стремиться получить совсем простые соединения, напротив, в интересах лучшей кристаллизации с определенным количеством обычного стеклянного расплава (например, щелочного силиката) можно было бы попытаться получить новые соединения, и затем исследовать оптические свойства получившегося расплава. Согласно накопленному опыту, посредством добавления определенной присадки к некоторому стеклянному расплаву можно добиться приблизительно пропорциональной зависимости степени преломления и дисперсии от количества присадки. Существенно, однако, чтобы, с одной стороны, проводя надежный анализ, определить состав каждого образца, а, с

другой стороны, осуществляя точные измерения, найти оптические константы.

До сих пор, насколько я знаю, для изготовления оптических стекол регулярно применяются только обычные щелочи (особенно известь и магнезия), кремневая и борная кислоты (стекло Фарадея), а также свинец и таллий. Борная кислота, кажется, используется только в соединении с большим количеством свинца; по-видимому, неизвестно, какое воздействие оказывает борная кислота на характеристики стекол с незначительным содержанием свинца. Таллий якобы применяется в новых очень тяжелых флинтгласах. Несомненно, отсутствуют надежные данные о влиянии других кислот и оснований на оптические характеристики. Исходя из оптических свойств солевых растворов и минералов, можно предположить, что именно окись цинка, окись кадмия и т.д., прежде всего глиноземы, будут оказывать своеобразное воздействие на оптические характеристики (будут обеспечивать высокое значение коэффициента преломления при относительно низкой дисперсии). С другой стороны, сурьма, висмут и мышьяк, а также борная, фосфорная, титановая кислоты и т.д. заслуживают проведения тщательных исследований.

Пожалуй, у меня здесь имеется полный набор выпускаемых в настоящее время оптических стекол, и, если Вы хотите, я распоряжусь провести ряд точных экспериментов. Некоторые данные, правда, можно найти в литературе, но они имеют смысл только в том случае, если одновременно точно определялись оптические константы. По моему мнению, анализ выпускаемых сортов стекла представляет очень незначительный интерес (возможно, вообще не представляет интереса) с точки зрения решения проблемы, обсуждавшейся выше. Дело в том, что состав этих стекол слишком сложен, чтобы можно было установить влияние отдельных оснований и кислот на их свойства. Для достижения цели следовало бы, если это возможно, приготовить расплавы, содержащие все указанные основания и кислоты, включая и применяемые в настоящее время, причем расплавы должны содержать

не более двух солей, например: силикат цинка + силикат натрия, борат цинка + силикат натрия, силикат калия + силикат натрия и т.д.

В этом случае без труда удалось бы определить специфические воздействия всех отдельных соединений на оптические свойства, и можно было бы на основе полученных данных заранее предсказать с достаточной точностью оптические характеристики некоторых сложных составов. Таким образом, удалось бы создать надежную базу, на основе которой можно было бы продолжать исследования и приготавливать смеси, обладающие определенными оптическими свойствами и при этом удовлетворяющие некоторым насущным эксплуатационным требованиям: по твердости, стойкости и т.д.

Высказанные мною пожелания представляют собой, по существу, программу научного исследования. Не исключено, что данное исследование, проведенное в виде лабораторных экспериментов, получит прямой выход в практическую оптику. Ведь если удастся изготовить маленькие призмы, допускающие проведение точных оптических исследований, то тем же методом можно приготовить и материал для небольших линз. Таким образом, прежде чем организовывать производство стекла в больших масштабах, можно было бы уже применить новый материал на практике по крайней мере в микроскопах, так как в этом случае большая стоимость не будет препятствием при условии, что новый материал обладает существенно лучшими оптическими свойствами.

Но, откровенно говоря, нужно сказать, что я понимаю в химии слишком мало, чтобы я мог быть уверенным в успешном завершении вышеописанной программы научного исследования. Лабораторное оборудование я также знаю не настолько хорошо, чтобы я мог указать способ получения пробных расплавов с оптически однородными свойствами. А ведь последнее и представляет собой наибольшую трудность, которую необходимо преодолеть. Для проведения точных измерений (я или мой ассистент можем, если нужно, проводить десятки

экспериментов в неделю) нам требуется не более одного кубического сантиметра материала.

Уверенное определение так называемого вторичного спектра возможно только при достаточно высоком уровне однородности. С учетом того факта, что приходится экспериментировать с весьма дорогими материалами, мне кажется, что прежде всего необходимо разработать метод получения однородных расплавов из небольших количеств материала, возможно, весом 40-100 грамм или еще меньше. Используемые на практике с недавнего времени небольшие газовые печи вполне можно применять для достижения достаточно высоких температур, необходимых для расплавления даже тугоплавких субстанций и полного перемешивания компонент. Но вспомним о растворении тигеля! Этот процесс представляет тем большее препятствие, чем меньше отношение объема к поверхности. Нельзя ли найти какой-нибудь материал, который бы был абсолютно стойким по отношению к подобному растворению? Если, при этом придется до минимума уменьшить количество перерабатываемого материала, то все же лучше получить 1 см<sup>3</sup> однородной массы, чем 1 кг полного свиля. Не следует ли изготавливать подобные пробные расплавы в небольших сосудах из чистого графита под действием интенсивного пламени стеклорезной горелки? Во всяком случае, мне представляется, что разработка подходящего для данной специальной цели метода плавки представляет собой крайне важный элемент всего проекта.

Желаю Вам приятно провести праздники.

С наилучшими пожеланиями

Преданный Вам Э. Аббе

## Письмо Аббе к Чапскому от 13 мая 1884 г.

Глубокоуважаемый господин доктор!

Я надеюсь, что посланная мною несколько дней назад открытка до некоторой степени извинила меня за поздний ответ на Ваш запрос и в то же время объяснила, что это опоздание не обусловлено недружественным отношением к Вам. Напротив, я очень рад приветствовать в Вашем лице молодого ученого, решившего посвятить свои стремления и силы работе в той же области, в которой я сам тружусь вот уже много лет. У меня нет ни малейшего намерения отговаривать Вас от задуманного. Более того, я считаю, что назрела необходимость привлечения большего количества ученых к работе в нашей проблематичной области. В нашей сфере деятельности нет недостатка в задачах.

В настоящее время очень мало кто имеет, с одной стороны, достаточно широкое научное образование и необходимые практические навыки, а с другой стороны, кто на достаточно высоком уровне знаком с деталями предмета, чтобы успешно решать конкретные задачи с помощью научных методов. Что касается внешнего преуспеяния, то и в этом смысле для прилежного человека перспективы вполне благоприятны. Конечно, в нашей области нет такого гарантированного обеспечения, какое, например, предлагается каждому в системе обучения, если только он не пренебрегает слишком уж откровенно своими обязанностями или не проявляет достаточной покорности перед начальством. В нашем деле человек полностью предоставлен самому себе, от него зависит, как он проявит свои способности на общем рынке труда, где и как сумеет поймать предоставившуюся ему благоприятную возможность. Преимущество такого положения заключается в том, что человек не имеет начальников и обладает большей свободой и самостоятельностью при использовании своих сил для достижения поставленных целей.

Деятельность в данной сфере отличается также двумя особенностями. *Во-первых*, исследователь должен уметь самостоятельно работать, уметь

ставить себе задачи, быть в состоянии приобрести вспомогательные средства, необходимые для решения поставленных задач. Чужие правила и рекомендации не помогут добиться значительных успехов, так как задачи слишком разнообразны и непрерывно меняются. *Во-вторых*, очень важна постоянная связь с практикой, что, конечно, может быть достигнуто только в результате накопления большого опыта. Нужно знать, какие средства находятся в распоряжении техники, чтобы выбрать из теоретически возможных вариантов те, которые можно использовать в технике, а также отбросить заведомо неприемлемые. Если Вы в состоянии преодолеть трудности, указанные в первом пункте, и Вас не пугают требования второго пункта (Вы не упускаете возможность приобрести практические навыки, где бы таковые ни предоставлялись), то, мне кажется, Вам нужно попытаться и дальше преследовать свои намерения, даже если счастье и не дало Вам синектуру в дорогу.

Если у меня будет какая-либо возможность быть Вам полезным, я с удовольствием помогу Вам. Мне особенно было бы приятно, если бы Вы смогли выбрать время и , приехать ко мне. Я бы мог предложить Вам некоторые более или менее трудные задачи, при решении которых Вы бы смогли кое-чему научиться и за выполнение которых Вы бы получили умеренное вознаграждение. Я бы мог рекомендовать Вам литературу для дальнейшего образования, например, книгу Зейделя и Диппеля. Главное, однако, по-моему, заключается в том, чтобы Вы как можно скорее начали решать небольшие практические задачи, касающиеся расчета реальных конструкций. Сначала следовало бы проводить расчеты объективов зрительных труб с двумя линзами различной конструкции на основе данных, описывающих характеристики двух заданных сортов стекла. В результате Вы наилучшим образом познакомитесь с приложением теории, а также приобретете некоторые практические навыки проведения расчетов. Итак, приезжайте в ближайшее время, устно можно обсудить больше вопросов, чем в письме.

С наилучшими пожеланиями, преданный Вам Э. Аббе

## Литература

- Арниольф А.* Изменение радиусов кривизны сферических поверхностей. М.: ОНТИ, 1936.
- Берек М. О.* Основы практической оптики. М.: ГТТИ, 1933.
- Вейс Г.* Аббе и Форд. Капиталистические утопии. М.; Л., 1928.
- Гершун А. Л.* Об оптических заводах Шотта и Цейсса. - ЖРФХО, 1895, т. 27, 8А.
- Гершун А. Л.* Об оптических фабриках Цейсса и Шотта в Йене. - Зап. РТО, 1896, т. 30, № 1.
- Гершун А. Л.* Оптический критерий Э. Аббе. - ЖРФХО, 1897, т. 29, 9А.
- Гершун А. Л.* Профессор Зигфрид Чапский. - ЖРФХО, 1907, т. 39, 7А.
- Гершун А. Л.* Упрощенный способ Аббе для определения фокусных расстояний линз. - ЖРФХО, 1902, т. 34, 9А.
- Гуриков В. А.* Возникновение и развитие оптико-электронного приборостроения. М.: Наука, 1981.
- Гуриков В. А.* Развитие технической оптики как теоретической базы оптического приборостроения. - В кн.: Техника в ее историческом развитии (70-е годы XIX в. - начало XX в.). М.: Наука, 1982.
- Гуриков В. А.* Становление прикладной оптики, XV-XIX вв. М.: Наука, 1983.
- Цепман И. Я.* Эрнст Аббе (1840-1905). - Природа, 1940, № И.
- Зоннефельд А.* Методы контроля оптических поверхностей. М.; Л.: Гостехиздат, 1939.
- Йобст Р.* 120-летие фирмы "Карл Цейсс, Йена" и 150-летие со дня рождения Карла Цейсса. - Астрон. журн., 1967, т. 44, вып. 1.
- Карпов В.* Очерк общей теории микроскопа в ее историческом развитии. М., 1907.
- Корякин Б. М.* Первые оптические системы призмных зрительных труб. - Опт. - мех. пром-сть, 1963, № 5.
- Матвеев А. Д.* Народное предприятие "Карл Цейсс". - В кн.: Вопросы экономической и политической географии. М.: Мир, 1958.
- Рождественский Д. С.* Чем овладел и что должен завоевать микроскоп: (Очерк истории микроскопии). - В кн.: Творцы физической оптики. М.: Наука, 1973.



- Ror M.* Оптические приборы. М.: Машметиздат, 1933.
- Соколовская З. К.* Приборостроение как самостоятельная отрасль промышленности. - В кн.: Техника в ее историческом развитии (70-е годы XIX в. - начало XX в.). М.: Наука, 1982.
- Тяжелов С. С.* Оптические измерения. М.; Л.: Оборонгиз, 1939.
- Умов Н. А.* Собрание сочинений. М., 1916. Т. 3.
- Хвольсон О. Д.* Характеристика развития физики за последние 50 лет. Л, 1924.
- Циммерман А.* Микроскоп. СПб.: Изд. Риккера, 1896.
- Эрнст Аббе - 120 лет научного приборостроения в Йене. - Йенское обозрение, 1966, № 3/4
- Auerbach F.* Das Zeisswerk und die Carl-Zeiss-Stiftung in Jena. Jena, 1903.
- Auerbach F.* Das Zeisswerk und die Carl-Zeiss-Stiftung in Jena: Ihre wissenschaftliche, technische und soziale Entwicklung und Bedeutung. Jena, 1925.
- Auerbach F.* Ernst Abbe: Sein Leben, sein Wirken, seine Persönlichkeit. Leipzig, 1918.
- Bauderer F.* Ernst Abbe Grunder der Zeiss-Stiftung-Wegbereiter des modernen Arbeitsrechts. Miinchen, 1979.
- Boegehold H.* Geschichte der Mikroskope: Leben und Werk grosser Forscher. Frankfurt am Main, 1963.
- Boegehold H.* Ober die Entwicklung der Theorie der optischen Instrumente seit Abbe. - Ergeb. exakt. Naturwiss., 1929 Bd 8, S. 69-146.
- Czapski S.* Theorie der optischen Instrumente nach Abbe. Leipzig, 1904.
- Czapski S., Eppenstein O.* Grundziige der Theorie der optischen Instrumente nach Abbe. Leipzig, 1924.
- Die grossen Deutschen. Deutsche Biographie: In 4 Bd. B., 1958-1960
- Esche P. G.* Ernst Abbe. Leipzig, 1963.
- Esche P., Kessler H.* Die Ernst-Abbe-Gedenkstatte in Jena. Jena, 1965.
- Geschichte der Mikroskopie: Leben und Werk grosser Forscher. Frankfurt am Mein, 1963.
- Gurikov V. A.* Zu Fragen der Periodisierung der technischen Optik. - NTM-Schriften. Gesch., Naturwiss. Techn. und Med., 1978. H. 1, S. 14-22.
- Gunter N.* Ernst Abbe Schopfer der Zeiss-Stiftung. Stuttgart, 1951.
- Helmholtz H.* Die theoretische Grenze fur die Leistungsfahigkeit der Mikroskope. - Poggendorffs Annalen, 1874. Jubelband.

*Hovestadt N.* Jenaer Glas und seine Verwendung in Wissenschaft und Technik. Jena, 1900.

*Kuhnert H.* Der Briefwechsel zwischen Otto Schott und Ernst Abbe über das optische Glas (1879-1881). Jena, 1946.

Mikroskopie und Nebenapparate von Carl Zeiss in Jena. Jena, 1872.

*Nageli und Schwendener.* Das Mikroskop: Theorie und Anwendung desselben. Leipzig, 1865.

*Rohr M.* Ernst Abbe als Leiter der Werkstätte bis zu seinem Tode. B., 1938.

*Rohr M.* Ernst Abbes Achromate. Leipzig, 1936. Rohr M. Ernst Abbe. Jena, 1940.

*Schomerus F.* Geschichte des Jenaer Zeisswerkes, 1846-1946. Stuttgart, 1952.

*Scheffel F.* Glaserne Wunder. Drei Männer schaffen ein Werk: Zeiss. Abbe, Schott. München, 1938.

Verzeichnis der mikroskopischen Apparate von Carl Zeiss in Jena. Jena, 1852.

*Volkman H.* Carl Zeiss und Ernst Abbe - ihr Leben und ihr Werk. München, 1966.

Zeiss Mikroskope und Nebenapparate. Jena, 1934.

## Именной указатель

**Амичи Джамбаттиста (1786-1863).** Профессор в Модене, позднее - директор обсерватории во Флоренции. Много лет занимался усовершенствованием различных оптических инструментов. Сконструировал зеркальный микроскоп, в 1827 г. изобрел иммерсионный объектив. В ботанике Амичи принадлежат первые описания движения протоплазмы, а также строения и функций устьиц растений. Наиболее важны исследования Амичи по оплодотворению у цветковых растений. Ему принадлежат первые наблюдения пыльцевой трубочки (1823 г.). В 1860 г. изобрел спектроскоп прямого видения.

**Бройль (Де Бройль) Луи (р. 1892).** Французский физик, непреходящий секретарь Парижской академии наук. В своей докторской диссертации "Исследования по теории квантов" (1924 г.) выдвинул идею о волновых свойствах материи (т.н. волны де Бройля), которая легла в основу современной квантовой механики. Идеи де Бройля получили полное подтверждение в опытах по дифракции электронов, атомов и т.п. Эти опыты показали, что волновые свойства обнаруживают все частицы, независимо от их природы и строения. Де Бройль также занимался релятивистской квантовой механикой, теорией электронов, вопросами строения ядра, теорией распространения электромагнитных волн. Лауреат Нобелевской премии (1929 г.).

**Брэгг Уильям Генри (1862-1942).** Английский физик, президент Лондонского королевского общества. В 1913 г. вместе с сыном Уильямом Лоуренсом Брэгг применил дифракцию рентгеновских лучей в кристаллах к установлению их характеристик (длины волн характеристического излучения химических элементов) и к расшифровке структуры кристаллов. Брэгг - лауреат Нобелевской премии (1915 г.); автор ряда научно-популярных книг.

**Бунзен Роберт Вильгельм (1811-1899).** Профессор Марбургского (с 1838 г.) и Гейдельбергского (1852-1859) университетов. Основная область научных интересов - экспериментальные исследования в области неорганической, аналитической и физической химии. В 1841 г. изобрел угольно-цинковый гальванический элемент. В 1834 г. совместно с Г. Р. Кирхгофом начал изучение спектров пламени различных металлов и солей. В 1859 г. эти ученые создали оригинальную конструкцию спектроскопа и положили начало спектральному анализу, с помощью которого им удалось открыть цезий (1860 г.) и рубидий (1861 г.). В 50-х годах XIX в. Бунзен совместно с английским химиком Г. Роско заложил научные основы фотохимии - науки о химическом действии света. Бунзен является изобретателем многих приборов: фотометра с масляным пятном (1843 г.), газовой горелки (1850 г.), ледяного калориметра (1870 г.) и др. В 1862 г. Бунзен был избран членом-корреспондентом Петербургской академии наук.

**Бэкон Роджер (ок. 1214-1294).** Английский философ и естествоиспытатель, монах францисканского ордена. Учился в Оксфордском университете. Основной научный труд Бэкона состоял из трех частей, озаглавленных "Малый труд", "Большой труд", "Третий труд". Оптика Бэкона изложена им в трактате "Большой труд". Бэкон строил свои оптические положения не на основе опыта, а чисто теоретически - геометрическими построениями. При этом ему было свойственно увлечение фантастическими идеями и мистикой. В центре внимания Бэкона находились физико-математические науки и их практические приложения. Бэкон предугадал принцип очков, телескопа, микроскопа, одним из первых в Западной Европе изучил применение магнитной иглы и пороха.

**Вавилов Сергей Иванович (1891-1951).** В 1914 г. окончил физико-математический факультет Московского университета. В 1918-1932 гг. преподавал физику в МГУ. Одновременно в 1918-1930 гг. заведовал Отделом физической оптики в Институте физики и биофизики Наркомздрава. С 1932 г. - директор Физического института АН СССР. В 1932-1945 гг. - одновременно руководитель Государственного

оптического института. В 1945 г. избран президентом АН СССР. Основные научные труды посвящены вопросам физической оптики и, в частности, люминесценции. В 1934 г. Вавиловым и П.А. Черенковым было открыто свечение чистых жидкостей под действием  $\beta$ - и  $g$ -излучения радиоактивных веществ (эффект Вавилова - Черенкова). Свои исследования в области физической оптики Вавилов обобщил в книге "Микроструктура света" (1950 г.). В период Великой Отечественной войны был уполномоченным Государственного Комитета Оборона СССР. Под его руководством разрабатывались новые оптические приборы для Советской Армии и Флота. Вавилов - лауреат Государственных премий 1943, 1946 и 1951 гг.

**Габор Деннис (1900-1976).** Член Британского королевского общества (1956 г.). Почетный член Венгерской академии наук (1964 г.). Окончил Технический университет в Будапеште и Высшую техническую школу в Берлине. В 1927-1933 гг. работал в Германии. В 1934 г. эмигрировал в Великобританию. В 1949-1967 гг. преподавал в Лондонском университете. В 1958 г. стал профессором этого университета. С 1967 г. - руководитель Станфордской лаборатории Колумбийской радиовещательной системы. В 1948-1951 гг. Габор построил общую теорию голографии и получил первые голограммы. В 1956 г. сконструировал голографический микроскоп. Габору принадлежат также труды по электронике, оптике, теории информации, теории связи.

**Галилей Галилео (1564-1642).** В 17 лет поступил на медицинский факультет университета в Пизе. Самостоятельно изучал сочинения Евклида, Аристотеля, Архимеда, Платона и другие классиков наук. В 1589 г. Галилей получил должность профессора математики в Пизанском университете, а в 1592 г. - кафедру математики в Падуинском университете. Ему принадлежат многие сочинения по математике, механике, астрономии. В 1609 г. Галилей создает свой первый телескоп, состоящий из двух линз (положительной и отрицательной). Вскоре ему удается построить телескоп, дающий 30-кратное увеличение. С его помощью Галилей открыл спутники Юпитера, сложную структуру Млечного Пути, горы на Луне и др. Ему принадлежит также приоритет в

создании сложного микроскопа. Научная деятельность Галилея имела огромное значение для победы гелиоцентрической системы мира. Для науки нашего времени очень важны также его работы по механике.

**Гамильтон Уильям Роуан (1805-1865).** Английский математик, член Ирландской Академии наук. С 1827 г. - профессор астрономии в Дублинском университете и директор университетской астрономической обсерватории. В 1833-1835 гг. Гамильтон опубликовал работу, в которой дал точное формальное изложение теории комплексных чисел. Он является также одним из создателей векторного анализа. Гамильтон применил вариационный метод в механике (т.н. принцип наименьшего действия). В настоящее время этот принцип является одним из средств вывода дифференциальных уравнений механических и физических процессов.

**Гаусс Карл Фридрих (1777-1855).** Пятнадцати лет поступил в Карлово училище, а в 1795 г. - в Гёттингенский университет. После его окончания в 1798 г. Гаусс полностью посвящает себя математике, уделяя внимание также астрономии, геодезии и оптике. В математике Гаусс проявил себя выдающимся ученым, явившемся родоначальником новых направлений в теории чисел, дифференциальной геометрии и др. Гаусс внес существенный вклад в теорию электричества и магнетизма, геодезию, теоретическую астрономию. Свои работы по прикладной оптике Гаусс обобщил в труде "Диоптрические исследования" (1840).

**Гельмгольц Герман Людвиг Фердинанд (1821-1894).** Учился в Военно-медицинском институте в Берлине; с 1843 г. - военный врач в Потсдаме; профессор физиологии университетов: в Кенигсберге (с 1849 г.), Бонне (с 1855 г.), Гейдельберге (с 1858 г.). С 1871 г. - профессор физики Берлинского университета. В 1888 г. Гельмгольц становится директором Государственного физико-технического института в Берлине. Основные труды Гельмгольца посвящены физиологии (нервная и мышечная деятельность, физиология зрения, теория аккомодации глаза, учение о цветовом зрении, физиологическая акустика). В процессе своих исследований Гельмгольц сконструировал целый ряд

оригинальных измерительных приборов (офтальмоскоп и др.). Гельмгольц впервые дал математическую трактовку закона сохранения энергии и указал на всеобщность этого закона. Им была доказана применимость принципа наименьшего действия к тепловым, электромагнитным и оптическим явлениям, а также установлена связь этого принципа со вторым началом термодинамики.

**Герц Генрих Рудольф (1857-1894).** Немецкий физик. Учился в Мюнхенском и Берлинском университетах. С 1880 г. - ассистент Г. Гельмгольца, с 1889 г. - профессор Боннского университета. Главные труды посвящены электродинамике. Исходя из уравнений Максвелла, Герц впервые разработал теорию открытого вибратора, излучающего электромагнитные волны. В 1886-1889 гг. он провел ряд знаменитых опытов с электрическим вибратором, экспериментально доказал существование электромагнитных волн и исследовал их свойства. Герц создал основы теории колебательного контура, изучил катодные лучи, исследовал влияние ультрафиолетовых лучей на электрический разряд, дал полную теорию удара упругих шаров, впервые предложил научное определение понятия твердости тел.

**Грегори Джемс (1638-1675).** Шотландский математик и астроном, член Лондонского королевского общества. С 1669 г. - профессор университета в Сент-Андрусе, а с 1674 г. - Эдинбургского университета. Разработал прием вычисления площади сектора, одинаково применимый для случая круга, гиперболы и эллипса. Для вычисления площадей Грегори пользовался рядами. В 1668 г. вывел формулу приближенного интегрирования. Грегори принадлежит один из первых проектов зеркального телескопа. Схема этого телескопа получила впоследствии его имя и применяется до сегодняшнего дня.

**Гук Роберт (1635-1703).** В 1653 г. поступил в Оксфордский университет, где впоследствии стал ассистентом Р. Бойля. С 1665 г. - профессор Лондонского колледжа; в 1677-1682 гг. - секретарь Лондонского королевского общества. В 1659 г. Гук построил первый воздушный насос. Совместно с Х. Гюйгенсом установил точку таяния льда и точку

кипения воды. Им были усовершенствованы барометр, зеркальный телескоп. Гук использовал зрительную трубу для угловых измерений, сконструировал прибор для изменения силы ветра, оптический телеграф и др. приборы. Гук внес существенные усовершенствования в микроскоп. В дополнение к объективу и окуляру микроскопа он ввел третью линзу - коллектив, - увеличивающую поле зрения этого инструмента. Принципиально новым было и введенное Гуком приспособление для искусственного освещения объекта. Конструктивные усовершенствования микроскопа, введенные Гуком, позволили использовать этот прибор для тонких научных исследований. Свои микроскопические исследования Гук опубликовал в 1665 г. в книге "Микрография".

**Гюйгенс Христиан (1629-1695).** Учился в университетах Лейдена и Бреда, где изучал математику и право. Его трактат "О расчетах при игре в кости" (1657) - одно из первых исследований по теории вероятностей. Большое внимание уделял оптическим исследованиям. Над "Диоптрикой" Гюйгенс работал с перерывами с 1652 по 1692 г. Первая часть этой работы посвящена в основном законам преломления света. В ней же дается формула линзы. Во второй части "Диоптрики" излагаются вопросы увеличения оптических систем, а в третьей - излагается теория телескопа. В 1662 г. Гюйгенс совместно с братом Константином строит станок для шлифовки линз; в 1662 г. им была предложена новая оптическая система окуляра. В 1681-1687 гг. Гюйгенс занимается постройкой "воздушных" телескопов, объективы которых имели огромное фокусное расстояние (37, 54 и 63 м) и монтировались отдельно от окуляра на высоких платформах. Увеличивая фокусное расстояние объективов, Гюйгенс стремился снизить величину их аберраций. Весь цикл оптических работ Гюйгенса завершился "Трактатом о свете" (1690 г.), где им была развита идея о волновой природе света, а кроме того, рассмотрен вопрос двойного лучепреломления в кристаллах исландского шпата.

**Декарт Рене (1596-1650).** После окончания иезуитского коллежа в Ла-Флеше служил волонтером в армии, затем переехал в Голландию, где



прожил до 1649 г. Основные произведения Декарта: "Правила для руководства ума", "Трактат о свете", "Рассуждение о методе", "Метафизические размышления о первой философии", "Начала философии". Еще в молодые годы у Декарта возникает идея пересмотра всех наук и изыскания универсального метода, с помощью которого эта перестройка могла бы быть осуществлена. Поэтому нет ничего удивительного в том, что наиболее значительное произведение Декарта, посвященное точным наукам, получило название "Рассуждение о методе...". В этом произведении имеется специальный раздел "Диоптрика", в котором Декарт затрагивает многие вопросы, связанные с созданием и развитием теории построения и расчета оптических систем. Большой заслугой Декарта явилась точная формулировка закона преломления, который он получил независимо от В. Снеллиуса. Декарт предложил ряд конструкций микроскопов и зрительных труб.

**Денисюк Юрий Николаевич** родился в 1927 г. в Сочи. В 1954 г. окончил инженерно-физический факультет Ленинградского института точной механики и оптики. С 1961 г. - зав. лабораторией Государственного оптического института. В 1958-1962 гг. Денисюк провел фундаментальные исследования, основным результатом которых было обнаружение явления отбражения оптических свойств объекта в волновом поле рассеянного им излучения. Основные научные труды Денисюка посвящены физической оптике и голографии. С 1970 г. Денисюк член-корреспондент АН СССР; лауреат Ленинской премии 1970 г.; лауреат Государственной премии СССР 1982 г.; лауреат Международной премии им. Д. Габора (1983 г.). В последние годы работает в области динамической голографии.

**Доллонд Джон (1706-1761)**. Вначале был ткачом. В 1752 г. вместе со своим сыном Питером основал оптическую мастерскую. В 1758 г. Д. Доллонд получил патент на изготовление ахроматических объективов для телескопов. Первоначально Доллонд разделял мнение И. Ньютона о невозможности создания ахроматических оптических систем, но после исследований Л. Эйлера сам занялся изучением этого вопроса. После долгих экспериментов Доллонд нашел удачную комбинацию двух

сортов стекла с различной относительной дисперсией (крона и флинта) и на их основе создал ахроматический объектив телескопа, состоящий из двояковыпуклой и плосковогнутой линз. Зрительные трубы и телескопы Доллонда вскоре получили широкое распространение во всем мире.

**Дреббель Корнелиус (1572-1634).** Голландец по национальности. Большую часть жизни прожил в Англии, где был придворным механиком королей Иакова I и Карла I, затем был приглашен Рудольфом II в Прагу, где некоторое время работал с И. Кеплером и И. Бюрги. Дреббель - изобретатель термостата, подводной лодки, насоса, инкубатора. Он внес важные усовершенствования в часовые механизмы, камеру-обскуру, микроскопы и телескопы, которые сам изготовлял.

**Кеплер Иоганн (1571-1630).** Немецкий астроном, открывший законы движения планет. Родился в городе Вейль-дер-Штадт (Германия). В 1589 г. Кеплер успешно сдает экзамены на степень бакалавра, а в 1591 г. получает магистерскую степень на факультете искусств в Тюбингенском университете, с 1594 г. Кеплер работает учителем математики и астрономии в школе в Граце (Штирия). Там он пишет свое первое крупное произведение "Тайна Вселенной" (1596 г.). В 1600 г. Кеплер переезжает в Прагу, где работает совместно с датским астрономом Тихо Браге. После смерти последнего, в 1601 г., Кеплер назначается преемником Браге и получает должность математика при императоре Рудольфе II. Основные труды Кеплера посвящены развитию гелиоцентрического учения Н. Коперника. Кеплер создал первую научную теорию оптических систем и зрительную трубу, состоящую из двух положительных линз.

**Кирхгоф Густав Роберт (1824-1887).** В 1846 г. окончил Кёнигсбергский университет. С 1850 г. - экстраординарный профессор физики в Бреславльском университете, с 1854 г. - ординарный профессор экспериментальной и теоретической физики в Гейдельбергском университете. В 1875 г. Кирхгоф возглавил кафедру математической физики в Берлинском университете. В 1845-1894 гг. Кирхгоф написал ряд работ по теоретической электротехнике и математической физике. В

1859-1862 гг. Кирхгоф совместно с Бунзеном усовершенствовал технику спектрального анализа, создал оптический спектроскоп. В 1861 г. Кирхгоф дал объяснение природы фраунгоферовых линий, что открыло широкие возможности для астрофизических исследований. Кирхгоф ввел понятие абсолютно черного тела, а также установил основной закон теплового излучения, получивший впоследствии его имя.

**Лебедев Александр Алексеевич (1893-1969).** В 1916 г. окончил Петербургский университет. В 1919 г. начал исследования процессов отжига оптического стекла в Государственном оптическом институте. Создал теорию, на основе которой можно было определить температурные режимы отжига различных сортов стекла. Лебедев изучал возможность использования явления интерференции для измерения длин волн, показателей преломления и т.п. В 1931 г. создал поляризационный интерферометр, основанный на разделении лучей при прохождении света через двоякопреломляющую линзу. Лебедев - крупный специалист по электронной оптике, с 1943 г. - действительный член АН СССР. Исследуя дифракцию быстрых электронов, Лебедев впервые использовал фокусирующие свойства магнитной линзы. В 1947 г. за создание отечественного электронного микроскопа Лебедеву была присуждена Государственная премия СССР.

**Лебедев Петр Николаевич (1866-1912).** В 1884 г. окончил реальное училище и поступил в Московское высшее техническое училище, но вскоре оставил его, решив стать физиком. В 1887-1891 гг. Лебедев работал в физических лабораториях Страсбургского и Берлинского университетов. В 1891 г. Лебедев защитил диссертацию и вернулся в Россию, где стал преподавать в Московском университете. В 1900 г. становится профессором этого университета. В 1901 г. впервые обнаружил и измерил давление света на твердые тела. В 1909 г. Лебедев экспериментально установил и измерил давление света на газы. Талант экспериментатора позволяет Лебедеву провести исследования дисперсии света, создать установку для обнаружения оптического эффекта Допплера (1894 г.), разработать фотокамеру для фотографирования быстро протекающих физических явлений. В 1909-1911 гг. Лебедев

занимается исследованиями природы земного магнетизма. Идеи Лебедева нашли свое развитие в трудах его многочисленных учеников.

**Леонардо да Винчи (1452-1519).** Гениальный итальянский художник, ученый и инженер эпохи Возрождения. Научные исследования Леонардо да Винчи касались широкого круга вопросов. Их отличительной особенностью было то, что все они были тесно связаны с практикой. Он занимался математикой, механикой, физикой, астрономией, геологией, ботаникой, анатомией и физиологией. Леонардо да Винчи глубоко интересовался и посвятил много времени физиологической оптике (строение человеческого глаза, ход лучей в нем и т.п.), фотометрическим исследованиям, геометрической оптике (построение хода лучей в линзах, в камере-обсуре, экспериментальный метод определения аберраций), технологии изготовления линз и зеркал.

**Мандельштам Леонид Исаакович (1879-1944).** В 1897 г. поступил в Новороссийский университет (в Одессе). Образование закончил в Страсбургском университете. С 1918 г. - профессор Одесского политехнического института, с 1925 г. - Московского университета. С 1928 г. - член-корреспондент АН СССР. Основные научные труды посвящены оптике, теории колебаний и радиофизике. В работе "Об оптически однородных и мутных средах" (1907) Мандельштам показал, что среда должна быть неоднородной, чтобы она рассеивала свет. В дальнейшем Мандельштам установил, что при молекулярном рассеянии монохроматического света должна изменяться его длина волны. В 1928 г. совместно с Г. С. Ландсбергом открыл комбинационное рассеяние света (независимо от Ч. Рамана и К. С. Кришнана). Совместно с Н. Д. Папалекси Мандельштам в 1938 г. разработал радиоинтерференционный метод точного определения расстояний, применяемый в геодезии, гидрографии и т.п.

**Ньютон Исаак (1642-1727).** С 1663 г. начинает интересоваться оптикой. Большое влияние на занятия Ньютона оптикой оказал Исаак Барроу - профессор, читавший курс геометрии и оптики. В 1665 г. Ньютон получает степень бакалавра, а в 1668 г. - магистра. Через год Барроу

уступает Ньютону свою кафедру. Главные научные произведения Ньютона: "Оптика", "Математические начала натуральной философии", а также работы по математическому анализу. Оптикой Ньютон занимался в общей сложности около 15 лет и сделал множество выдающихся открытий, проявив себя мастером физического эксперимента. В 1675 г. Ньютон выдвинул корпускулярно-волновую теорию света. Труды И. Ньютона в области прикладной оптики были посвящены улучшению конструкции и качества работы телескопа, отработке технологии изготовления линз и зеркал, расчету и устранению сферических и хроматических аберраций, опытам по созданию ахроматических оптических систем.

**Петцваль Йозеф (1807-1891).** Профессор Венского университета. С 1849 г. - действительный член Венской академии наук. Ему принадлежат исследования по теории дифференциальных уравнений и прикладной оптике. В 1840 г. он рассчитал и создал портретный объектив большой светосилы (1:3,2). В этом объективе было впервые достигнуто одновременное исправление сферической аберрации, комы и астигматизма при удовлетворительной величине хроматической аберрации. Петцваль также нашел условие идеального анастигмата (условие Петцваля), выполнение которого дает исправление аберрации кривизны поля зрения. Объективы Петцваля получили широкое распространение как в Австрии, так и далеко за ее пределами. В 1860 г. он рассчитал объектив-анастигмат, удовлетворяющий "условию Петцваля".

**Планк Макс Карл Эрнст Людвиг (1858-1947).** Образование получил в Мюнхенском (1874-1877 гг.) и в Берлинском (1877-1878 гг.) университетах. В 1885 г. Планк становится профессором Кильского университета, а в 1889 г. - Берлинского университета. С 1894 г. он член Берлинской академии наук. Наиболее важные исследования Планка связаны с термодинамикой. В 1900 г. он открыл закон распределения энергии в спектре абсолютно черного тела, получивший название закона Планка. Им была выдвинута идея квантования энергии. Исследования Планка в области теории теплового излучения явились важной вехой на

пути создания оптико-электронных приборов. Большое значение имеют также работы Планка, посвященные различным вопросам теории относительности.

**Рейс Иоганн Филипп (1834-1874).** Немецкий изобретатель. С 1858 г. - учитель физики в Фридрихсдорфе (Германия). В 1861 г. в Физическом обществе во Франкфурте-на-Майне сделал сообщение об изобретенном им телефоне (1860 г.), состоящем из приемника и передатчика. Рейс продемонстрировал действие своего телефона, передавая на расстояние музыкальные мелодии.

**Рентген Вильгельм Конрад (1845-1923).** В 1866 г. окончил Политехникум в Цюрихе. В 1868 г. защитил диссертацию на степень доктора философии. С 1872 г. - преподаватель в Страсбургском университете. Рентген был профессором в высшей школе в Хоэнхейме, в Страсбургском, в Гисенском, в Вюрцбургском и в Мюнхенском университетах. Ему принадлежат классические исследования пьезоэлектрических и пироэлектрических свойств кристаллов, - открытие взаимодействия электрических и оптических явлений в кристаллах. В 1895 г. он открыл новые лучи, получившие впоследствии название рентгеновских. В последующие годы Рентген установил основные свойства этих лучей; создал рентгеновскую трубку. Лауреат Нобелевской премии 1901 г.

**Рождественский Дмитрий Сергеевич (1876-1946).** Окончил Петербургский университет в 1900 г. Продолжил образование в Лейпцигском университете. С 1903 г. - ассистент Петербургского университета. В 1907-1910 гг. вел научную работу в Парижском университете. С 1912 г. - доцент, а с 1916 г. - профессор Петербургского университета. Читал курсы оптики и электромагнитной теории света. В 1918 г. по предложению Рождественского был создан Государственный оптический институт (ГОИ), директором и научным руководителем которого он был до 1932 г. С 1929 г. Рождественский - действительный член АН СССР. Он был одним из организаторов советской науки и оптической промышленности. Фундаментальные результаты были

получены им в работах по теории атомных спектров. Рождественским были выполнены основополагающие исследования по теории микроскопа, в которых он указал на важную роль интерференции при образовании микроскопического изображения. Рождественский - глава крупнейшей научной школы советских оптиков.

**Росс (Парсонс) Уильям (1800-1867).** С 1831 г. - член Лондонского королевского общества, с 1849 по 1854 г. - его президент. В 1845 г. Росс построил телескоп-рефлектор с диаметром зеркала в 182 см, который был установлен в Бир-Касле (Ирландия). С помощью этого рефлектора он установил спиральную структуру многих внегалактических туманностей. С 1852 г. - иностранный член Петербургской академии наук.

**Рудольф Пауль (1858-1935).** Основные труды посвящены расчету и конструированию фотографических объективов. Свою работу начал у Цейсса в Йене в конце XIX в. под руководством Э. Аббе. В период с 1890 по 1902 г. им был рассчитан ряд объективов с хорошей абберационной коррекцией, в том числе и всемирно известные объективы-апохроматы "Тессар" и "Планар". Проработав у Цейсса 25 лет, Рудольф в 1910 г. вышел в отставку, однако продолжал заниматься расчетами оптических систем. В 1918 г. он создал объектив "Плазмат", усовершенствованием которого занимался до конца жизни.

**Рэлей Стретт Джон Уильям (1842-1919).** Учился в Кембриджском университете. С 1873 г. - член Лондонского королевского общества. В 1879 г. стал директором Кавендишской лаборатории. С 1887 г. - профессор Британского королевского института. Основные труды Рэлей посвящены оптике, акустике, электричеству. В 1911 г. Рэлей установил закон, выражающий распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела в зависимости от его температуры. Рэлею принадлежит ряд исследований по волновой и молекулярной оптике. Им были заложены основы теории молекулярного рассеяния света.

**Столетов Александр Григорьевич (1839-1896).** В 1860 г. окончил Московский университет. С 1873 г. - профессор этого университета. В 1888-1890 гг. Столетов изучал явление фотоэффекта и получил фундаментальные результаты. Он установил, в частности, что сила фототока пропорциональна интенсивности света, поглощенного катодом. Столетов указал на возможность непосредственного превращения световой энергии в электрическую. Столетов - создатель первой в России научной школы физиков. Он изучал также свойства ферромагнитных тел.

**Фраунгофер Йозеф (1787-1826).** Сын стекольщика. В детстве работал учеником в зеркальной и стекольной мастерской. В 1806 г. поступил в известную в то время оптическую мастерскую в Бенедиктбейерне (Бавария); позднее стал ее руководителем и владельцем. Выпускавшиеся мастерской Фраунгофера оптические приборы и инструменты получили широкое распространение во всем мире. С 1823 г. Фраунгофер - профессор физики Мюнхенского университета. Основные труды Фраунгофера посвящены оптике. Он ввел существенные усовершенствования в технологию изготовления больших ахроматических объективов телескопов, изобрел окулярный микрометр и гелиометр. Фраунгофер открыл в 1814 г. линии поглощения в солнечном спектре, названные впоследствии его именем. В 1821 г. впервые применил дифракционную решетку для изучения спектров; предложил метод наблюдения дифракции света в параллельных лучах.

**Френель Огюстен Жан (1788-1827).** Окончил в 1806 г. Политехническую школу, а затем в 1809 г. - Школу мостов и дорог. Работал инженером в различных департаментах Франции. В 1818 г. Френель был привлечен к работе комиссии по реорганизации маячного освещения. Френель создал и практически осуществил новую систему маячного освещения с помощью аппаратов со ступенчатыми линзами (1819-1827 гг.). Линзы Френеля получили впоследствии довольно широкое применение в оптических системах различного назначения. С 1823 г. Френель - член Парижской академии наук, а с 1825 г. - Лондонского королевского общества. Важнейшие результаты,



полученные Френелем: создание законченной теории дифракции, опытное исследование влияния поляризации на интерференцию и обоснование поперечного характера световых волн, открытие круговой и эллиптической поляризации, объяснение явления вращения плоскости поляризации, создание теории двойного лучепреломления и др.

**Фурье Жан Батист Жозеф (1768-1830).** Французский математик, член Парижской академии наук. Первые работы Фурье относятся к алгебре (теорема Фурье). Основной областью его занятий была математическая физика. В 1822 г. Фурье опубликовал известную работу "Аналитическая теория тепла", в которой вывел дифференциальное уравнение теплопроводности, разработал метод разделения переменных (метод Фурье). В основе этого метода лежит представление функций тригонометрическими рядами Фурье. Фурье привел первые примеры разложения в тригонометрический ряд Фурье функций, которые заданы на различных участках различными аналитическими выражениями. С исследованиями Фурье было в значительной степени связано возникновение теории множеств и теории функций действительного переменного.

**Фусс Николай Иванович (1755-1825).** В 1773 г. по приглашению Л. Эйлера переехал в Россию. С 1783 г. - ординарный академик Петербургской академии наук; с 1800 г. - неперемный секретарь Академии. Большинство его исследований относится к различным областям математики, механики, астрономии и геодезии. В 1774 г. Фусс опубликовал работу "Подробное наставление по приведению телескопов разнообразных видов к наивысшей возможной степени совершенства, извлеченное из диоптрической теории Г. Эйлера-старшего и доступно изложенное для всех мастеров этого дела. С описанием микроскопа, который можно считать наиболее совершенным в своем роде и который может давать любые желаемые увеличения". В этой работе содержалось описание первого в мире ахроматического микроскопа.

**Хайсам (Ибн-аль-Хайсам), Абу Али (латинизированное имя Альхазен) (965-1039).** Арабский ученый. Родился в Басре. Ему

принадлежит большое число работ в области физики, математики, медицины, философии. Большой интерес представляет трактат Хайсама по оптике, переведенный в средние века на латинский язык и опубликованный в 1572 г. В нем содержится наиболее полное изложение оптики того времени. Наибольший интерес представляют разделы этого трактата, содержащие данные о строении глаза, бинокулярном зрении, сферической аберрации, камере-обскуре.

**Цейсс Карл Фридрих (1816-1888).** Родился в Веймаре в семье токарного мастера. После окончания гимназии в 1834 г. переехал в Йену, где до 1838 г. проходил обучение у известного в то время оптика и механика Ф. Кернера, доцента Йенского университета. В 1838 г. Цейсс предпринял длительную поездку, во время которой посетил механические мастерские Штутгарта, Дармштадта, Вены и Берлина. В 1846 г. он организовал в Йене оптико-механическую мастерскую, выпускавшую лупы, простые микроскопы. Тем самым было положено начало фирме по производству оптических приборов. В 1863 г. на фирму Цейсса был приглашен Э. Аббе, а затем целый ряд других специалистов по прикладной оптике (З. Чапский, А. Гартман, П. Рудольф, К. Пульфрих и др.). С 1881 г. фирма Цейсса стала сотрудничать со стекольной фирмой О. Шотта. Вскоре был организован завод оптического стекла, который впоследствии объединился в одно предприятие Цейсса-Шотта.

**Шлейден Маттиас Якоб (1804-1881).** Немецкий ботаник. В 1839-1862 гг. - профессор ботаники Йенского университета. В 1863- 1864 гг. жил в России, занимал кафедру антропологии Дерптского университета. В 1842-1843 гг. опубликовал труд "Основы научной ботаники". В его работе "Данные о фотогенезе" (1838 г.) была предложена теория возникновения новых клеток из старых. Шлейдену принадлежит также большое число научно-популярных работ по основным проблемам ботаники. Он одним из первых применил микроскоп для ботанических исследований.

**Шотт Отто (1851-1935).** Учился в Высшей технической школе в Ахене, а затем в Вюрцбургском и Лейпцигском университетах. В 1884 г. по

инициативе Э. Аббе он основал фирму по производству оптического стекла. Шотт выполнил ряд важных работ по исследованию свойств стекол в зависимости от их химического состава. Путем введения в состав стекла разнообразных окислов (окислы бария, цинка, свинца и др., а также борный и фосфорный ангидриды), ранее очень мало применявшихся в стекловарении, и использования их в весьма разнообразных пропорциях, Шотт создал новые сорта стекол с новыми свойствами. Работы Шотта послужили основанием для развития промышленного выпуска немецкого высококачественного оптического стекла.

**Эйлер Леонард (1707-1783).** В 1720 г. поступил в Базельский университет. В 1725 г. Эйлер получил приглашение в Петербургскую академию наук, где проработал с 1727 по 1741 г. и с 1766 г. до конца жизни. Круг занятий Эйлера был необычайно широк: он охватывал все разделы современной ему математики и механики: теорию упругости, математическую физику, оптику, теорию музыки, теорию машин, баллистику, морскую науку, страховое дело и т.д. Эйлер внес значительный вклад в оптическую науку и технику, первым высказал мысль о том, что путем сочетания двух линз, изготовленных из разных сортов оптического стекла, можно устранить хроматическую аберрацию; ему также принадлежит идея создания ахроматического объектива микроскопа и конструкция проекционной оптической системы.

**Эпинус Франц Ульрих Теодор (1724-1802).** Учился в Ростокском и Йенском университетах. С 1755 г. - профессор астрономии в Берлине. В 1757 г. Эпинуса приглашают на должность профессора Петербургской академии наук. Он опубликовал ряд работ по математике, астрономии и физике, среди которых наибольшее значение имеет мемуар об открытии им явления пирозлектричества в кристаллах турмалина. В 1759 г. Эпинус опубликовал трактат "Опыт теории электричества и магнетизма", получивший широкую известность как первая попытка математической трактовки электрических и магнитных явлений. Большой интерес представляют работы Эпинуса по инструментальной

оптике. В 1784 г. он сконструировал первый опытный экземпляр ахроматического микроскопа.

**Эри Джордж Бидделл (1801-1892).** Английский астроном. С 1828 г. - директор обсерватории Кембриджского университета. В 1835-1881 гг. - директор Гринвичской обсерватории. Эри принадлежат работы по теоретической астрономии и астрономической оптике. Им обнаружено явление астигматизма в человеческом зрении. В связи с исследованиями по интенсивности света, Эри в 1838 г. пришел к одному классу цилиндрических функций, получивших применение в разнообразных задачах. Много внимания Эри уделял наблюдательной астрономии и конструированию инструментов. Им был разработан метод исследования цапф, применяемый в настоящее время. Эри сконструировал и ввел в астрономическую практику отражательную зенитную трубу и хронограф. По инициативе Эри на Гринвичской обсерватории в 1873 г. было начато систематическое фотографирование Солнца.

**Юнг Томас (1773-1829).** Английский физик, врач и астроном, один из создателей волновой теории света. В 1793 г. опубликовал работу по физиологии зрения, в которой указал, что аккомодация глаза обусловлена изменением кривизны хрусталика. В 1800 г. вышел трактат Юнга по оптике и акустике "Опыты и проблемы по звуку и свету", в котором он впервые разработал проблему суперпозиции волн. Дальнейшим развитием этой проблемы явилось открытие Юнгом принципа интерференции и окончательный переход к волновой теории света. В 1803 г. в работе "Опыты и исчисления, относящиеся к физической оптике" Юнг ввел термин "интерференция" и рассмотрел явление дифракции света. Юнг разработал также теорию цветного зрения, которая получила свое дальнейшее развитие в трудах Г. Гельмгольца. Из других достижений Юнга в области физики известны его исследования по деформации сдвига. Ему принадлежат также интересные работы по расшифровке египетских иероглифов.