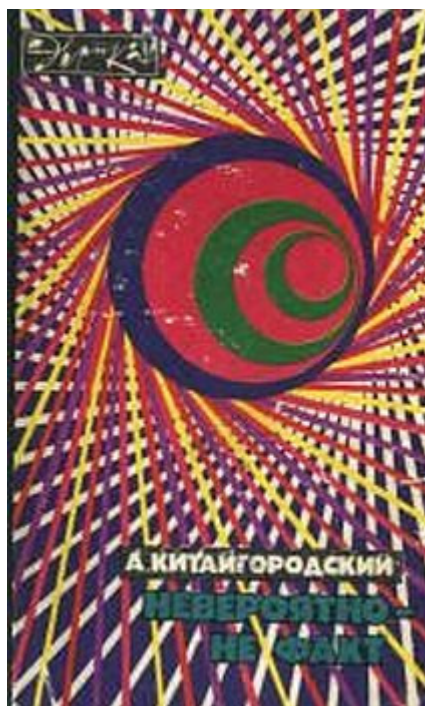
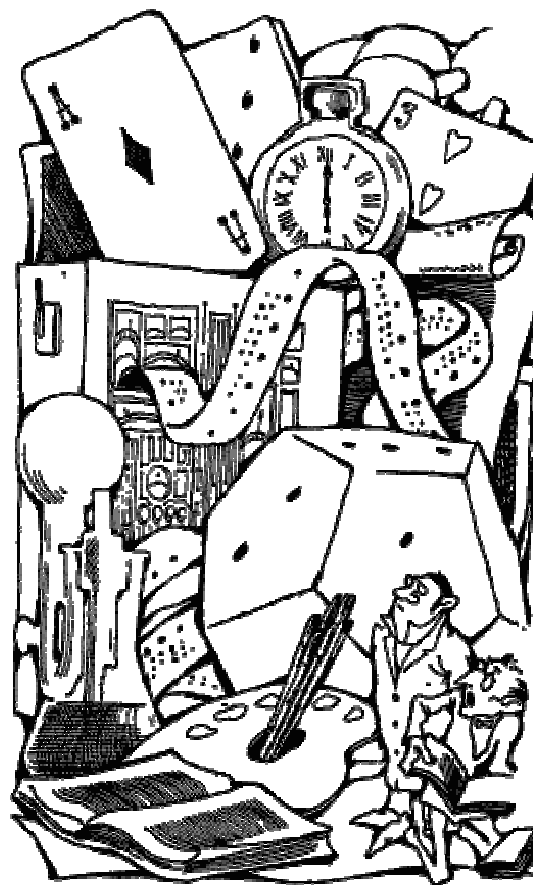


Александр Исаакович Китайгородский Невероятно – не факт



Аннотация

Книга посвящена применению законов теории вероятностей к различным жизненным ситуациям и в разных областях науки. В ней рассказывается, как пользуются законом вероятности физики и кинорежиссёры, селекционеры и юристы, социологи и механики и т.д.



Александр Китайгородский Невероятно – не факт

Вместо предисловия

– Ну я пошёл. – Мой друг Александр Саввич решительно взялся за пальто.

– Посиди ещё, – попросил я. – Ведь нет ещё двенадцати. А я расскажу тебе о плане своей новой книги.

– Ну ладно, – согласился гость без энтузиазма. Его сейчас занимала проблема, где провести отпуск – на Кавказе или в Крыму.

– Это будет книга о случайных событиях, о вероятном и невозможном, о том, как случайности приводят к закономерностям, о применении правил вероятности в самых различных областях житейской практики и науки.

– Таких книг вышли уже сотни, – кисло сказал Александр.

– Возможно. Но ты же не отвергаешь нового романа на том основании, что его сюжетом является безответная любовь Коли к Маше, которая любит Петю.

– Гм... Справедливо.

– Ты понимаешь, – продолжал я, не обращая внимания на интонацию этого «гм», – ведь речь идёт о чрезвычайно широкой теме. Великий Лаплас ещё полтора столетия назад сказал, что в конечном счёте все наиболее важные жизненные проблемы – это проблемы вероятностные. И право же, это не преувеличение.

– А как же говорят: наука – враг случайностей? – зевая, сказал друг.

– Противоречия тут нет. Но ты попал в точку. Случайные события действительно приводят к неукоснительно выполняющимся законам природы. Вероятностные законы – это железные правила. Надо только ясно понимать, к чему они относятся. «Средние значения»; «средние отклонения от среднего»; «частота более или менее резких отклонений от среднего» –

вот главная тема теории вероятностей.

– Очень интересная тема, – в голосе Александра явственно слышалась ирония. – Очень интересная, если учесть, что каждого человека очень занимает судьба его самого. Ты изложишь читателю проблемы средней продолжительности жизни, а его интересует продолжительность своей жизни. Ты ему сообщишь, что в возрасте семидесяти лет его шансы отправиться в лучший мир в течение ближайших пяти лет достаточно велики, а он скажет, что его мало интересуют твои выводы о «среднем старике», поскольку он совсем не такой, как другие, так как обладает железным здоровьем, принимает по утрам холодный душ и не курит с детства.

– Не так агрессивно, – я стал уже горячиться. – Во-первых, книга вовсе не посвящается демографической статистике, хотя об этом немного будет сказано. Я собираюсь обсудить проблемы физики, химии и биологии, имею намерение уделить несколько страниц проникновению статистических методов в психологию и в эстетику. Но даже если бы всего этого не было и разговор шёл только о законах случая в житейской практике, то ты все равно не прав.

– Не чувствую.

– Видишь ли, по своему характеру люди отличаются достаточно резко, и отношения к случаю, к риску, к счастливому выигрышу у них очень различны. Нет, конечно, такого человека, который не рассчитывал бы на счастливый случай, где-то в глубине своей души не надеялся бы, что везение наложится на естественный ход событий и поможет ему в достижении его целей. Но, с одной стороны, было бы глупо полагаться только на везение, и не менее неразумно было бы совсем на него не рассчитывать. Обе крайности нецелесообразны. У меня есть робкая надежда, что моя книжка поможет читателю найти правильную среднюю линию поведения.

– Это за счёт чего же?

– За счёт того, что она даст ему представление о том, что вероятно, а что невозможно. По-моему, любому из нас следует приблизительно представлять себе, какое поведение равносильно броску монеты, а какое оправдано не более чем ожидание выигрыша автомобиля по лотерее.

– Цифровая твоя рационалистическая душа, – искренне возмутился Александр. – Твой герой раньше, чем совершить поступок, должен на логарифмической линейке рассчитать вероятность удачи. Тебе неизвестны, значит, случаи, когда поступить можно только единственным образом, вне зависимости от шансов не только на удачу, но и на жизнь.

– Известно. Но всё же согласись, что в большинстве случаев, прежде чем делать, стоит подумать. И вот тогда понимание, что такое случайность, и правильное представление о вероятности события будут очень полезными.

– Любой здравомыслящий человек превосходно оценивает вероятность события, не зная теории.

– Ты думаешь? Тогда скажи мне, пожалуйста, вот что. Представь себе, что ты попал в игорный дом. Не возмущайся, это лишь риторический приём. У тебя есть десять франков и очень большое желание выиграть. Ты следишь за колесом рулетки и видишь, что чёрное вышло семь раз подряд. На какое поле ты бросишь теперь монету?

– Ответ очевиден. Тут есть какой-нибудь подвох?

– Никакого подвоха. Значит, ты бросишь монету на красное?

– Конечно!

– Так вот, мой дорогой. Шансы на то, что после семи чёрных выпадет чёрное или красное, одинаковы и равны половине. У рулетки нет памяти о прошлых событиях. И что происходило до того броска, который решает участь твоих денег, роли не играет.

– Ах да! – недовольно сказал друг. – Я помню это рассуждение, но что-то тут не так.

– Тут все так. Но, чтобы заставить читателя отказаться от ряда заблуждений и мистических представлений о шансе, придётся вести неторопливый разговор, и, согласись, разговор этот не лишний.

– Как ты назовёшь книгу? – чтобы переменить тему, спросил Александр Саввич.

– Книга будет называться «Невероятно – не факт». Часто говорят «невероятно, но факт». Эта фраза имеет лишь эмоциональное содержание. Сказать «невероятно, но факт» – это то же

самое, что сказать «невозможно, но будет возможно». На самом же деле признание невероятности события равносильно признанию его полной невозможности. Более строго это утверждение может быть сформулировано так: события с достаточно малой вероятностью никогда не происходят, они невозможны.

– Но...

– Разумеется, – перебил я. – Одной из важных задач книги и является разъяснение того, что же считать «достаточно малой вероятностью».

– С чего же ты начнёшь?

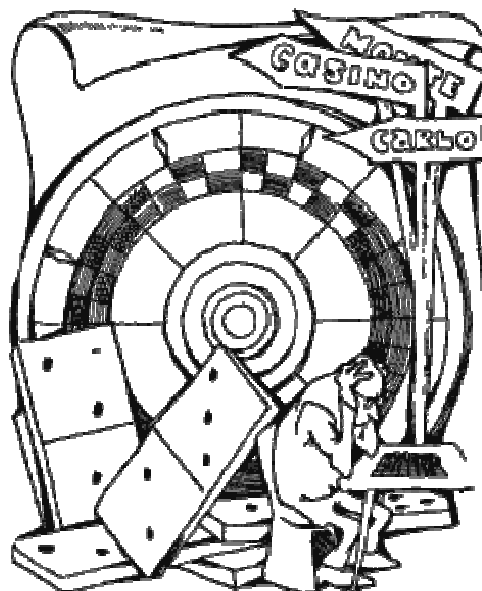
– С азартных игр. Надеюсь, читатели меня извинят. Теория вероятностей началась с азартных игр, которые занимали ум, время и, главное, страсти многих поколений. Сюжет достаточно интересен, а основные понятия, с которыми нам придётся иметь дело в этой книге, наиболее просто вводятся с помощью игральных карт.

– Желаю удачи!

Часть первая Игра



Орёл или решка



Азартные игры появились на заре человечества. Их история начинается с игральные костей. Изобретение этого развлечения, источника радостей и несчастий, приписывается и индийцам, и египтянам, и грекам в лице Паламеда. При раскопках в Египте находили игральные кости разной формы – четырехгранные, двенадцатигранные и даже двадцатигранные. Но, разумеется, больше всего находили шестигранные, то есть кубы. Главная причина преимущественного их распространения – простота изготовления. Удобно и то, что цифры от единицы до шести не слишком малы и не слишком велики. Действительно, оперирование, скажем, с двадцатигранниками потребовало бы уже умственных напряжений для производства арифметических действий. Поэтому кости иной формы, чем кубы, применялись в основном для предсказания судьбы.

Впрочем, двадцатигранники нашли в последние годы себе применение в науке. Японские фирмы выпустили кость, на которой противоположные грани обозначены одним числом. Таким образом при бросании выпадают цифры от 0 до 9. Бросая кость, мы можем создавать ряды случайных цифр, которые нужны (об этом мы расскажем позже) для проведения весьма серьезных расчетов так называемым методом Монте-Карло.

Популярность игры в кости в Древней Греции, в Древнем Риме и в Европе в средние века была исключительно велика, в основном, конечно, среди высших слоёв населения и духовенства. Увлечение игрой в кости слугами церкви было столь значительно, что епископ кембрезийский Витольд, не сумевший её запретить, заменил игрой в «добродетели». Что это за игра? Да вместо цифр на гранях костей были изображены символы добродетелей. Правила игры, правда, были сложными, нелёгким был и итог: выигравший должен был направить на путь истинный (в отношении проигранной добродетели) того монаха, который потерпел поражение.

Вряд ли эта подмена радовала служителей культа, так как, несмотря на то, что государственные и церковные деятели неоднократно запрещали монахам играть в азартные игры, те продолжали «тешить беса».



Ещё труднее было бороться с этой страстью у придворных, рыцарей, дворян и прочей знати. Указами и сообщениями о наказаниях за нарушение этих указов, жалобами членов семьи на своего кормильца и другими подобными историями полна средневековая пресса.

Насколько увлечение было сильно, можно судить по тому, что существовали не только ремесленники, изготавливавшие кости, но и школы по изучению премудростей игры.

Играли двумя костями, а больше – тремя. Их встряхивали в кубке или в руке и бросали на доску. Игр существовало множество. Но, вероятно, наибольшее распространение имело прямолинейное бросание – кто выбросит большую сумму очков.

У нас в России игральные кости не пользовались большой популярностью. Возможно, это объясняется тем, что «просвещение» захватило наши придворные круги уже тогда, когда в Европе мода на кости прошла и появились карты. Зато игра в орлянку процветала повсеместно. Мы оставим без внимания эту простую игру и вернёмся к более сложной – к игре с костями кубом с шестью цифрами.

Итак, игрок дрожащей рукой встряхивает кубок и выбрасывает из него кости. Вверх смотрят какие-то цифры. Какие? Любые. Предсказать их невозможно, так как здесь господствует «его величество случай». Результат события случаен, потому что зависит от большого числа неконтролируемых мелочей: и как кости легли в кубке, и какова была сила и направление броска, и как каждая из костей встретилась с доской, на которую бросали кости. Достаточно крошечного, микронного смещения в начале опыта, чтобы полностью изменился конечный результат.

Таким образом, огромное число факторов делает совершенно непредсказуемым результат выброса костей, изготовленных без жульничества. А рассуждения о том, что вот если бы была возможность разместить кости в кубке в положении, фиксируемом с микронной точностью, да если бы ещё направление выбрасывания костей можно было бы установить с точностью тысячных долей углового градуса, да, кроме того, силу броска измерить с точностью до миллионных долей грамма... вот тогда можно было бы предсказать результат и случай был бы с позором изгнан из этого опыта, – есть абсолютно пустой разговор. Ведь постоянство условий, при которых протекает явление или ставится опыт, есть практическое понятие. То есть я говорю, что условия проведения двух испытаний одинаковы лишь в том случае, если не могу установить различий между ними.

Если тысячи и миллионы опытов, поставленных в одних и тех же условиях, всегда приводят к определённому событию (выпущенное из руки яблоко падает на землю), то событие называется достоверным. А коль скоро миллионы опытов показывают, что некоторый их исход никогда не наблюдается (невозможно одним караваем хлеба накормить тысячу голодных людей), то такие события называются невозможными.

Случайные события лежат между этими двумя крайностями. Они иногда происходят, а иногда нет, хотя практически условия, при которых мы их наблюдаем, не меняются.

Выпадение кости – классический пример случайного события. И всё же интересно, можно

ли наперёд предусмотреть, предугадать, наконец, рассчитать и предсказать результат такого события, и как это делается?

Когда мы сталкиваемся с одинаковыми ситуациями, которые приводят к случайным исходам, на сцене появляется слово «вероятность». Вероятность – это число. А раз так, то оно относится к точным понятиям; и чтобы не попасть впросак, надо пользоваться этим словом с той определённой и недвусмысленностью, которые приняты в естествознании.

Рассуждение начинается так. Есть некая исходная ситуация, которая может привести к разным результатам: кость-кубик может упасть вверх любой гранью, из колоды берётся карта – она может быть любой масти, родился человек – это может быть мальчик или девочка, завтра наступит 10 сентября – день может быть дождливым или солнечным... Число исходов событий может быть самым разным, и мы должны все их держать в уме и знать, что один из них произойдёт обязательно, то есть достоверно.

Перечислив все возможные исходы, возникающие из некоей ситуации, математик скажет: дана группа исходов события, которая является предметом изучения теории вероятностей.

Различные результаты события, то есть различные представители группы, могут быть равновероятными. Этот самый простой вариант случайности осуществляется в азартных играх. (Потому мы и начали книгу рассказом об азартных играх.) Введём число вероятности на примере игральной кости.

Группой исходов события является выпадение единицы, двойки, тройки, четвёрки, пятёрки и шестёрки. «Исход события» звучит немного громоздко, и мы надеемся, что читатель не будет путаться, если мы иногда не станем писать первое слово. Итак, событий в группе шесть – это полное число событий.

Следующий вопрос, который надо себе задать, таков: сколько из этих событий дают интересующий нас результат? Допустим, мы хотим узнать вероятность выпадения тройки, то есть нас волнует осуществление одного события из группы в шесть. Тогда число благоприятных вариантов (одно – тройка) делят на полное число событий и получают вероятность появления интересующего нас события. В нашем примере вероятность выпадения тройки будет равна $1/6$. А чему равна вероятность появления чётной цифры? Очевидно, $3/6$ (три благоприятных события делят на общее число событий, равное шести). Вероятность же выхода на кости числа, кратного трём, равна $2/6$.

Ещё примеры.

В ящике, куда заглянуть нельзя, находится сто шаров, четыре из которых чёрные. Чему равна вероятность вытащить чёрный шар? Рассматривается группа из ста событий; благоприятных событий четыре, значит, вероятность вытянуть чёрный шар равна 0,04. Вероятность вытянуть туза пик из полной колоды равна $1/52$. Вероятность вытянуть любую пику – $1/4$, какой-либо туз – $1/13$, а любую пиковую фигуру – $3/13$ и так далее.

Мы рассмотрели примеры, когда сразу ясно, о какой группе событий идёт речь, когда вполне очевидно, что все события из-за равенства условий имеют одинаковые шансы осуществиться, когда заранее ясно, чему равняется вероятность интересующего нас события. Но есть случаи и посложнее. Подробнее о них будет рассказано в других главах, а сейчас скажем, что осложнения могут быть двух типов.

Первое – вероятность исхода события не очевидна заранее. И тогда значение вероятности может быть установлено лишь на опыте. К этому, так называемому статистическому, методу определения вероятности мы будем возвращаться неоднократно и тогда подробнее о нём поговорим.

Другая трудность, скорее логического порядка, появляется тогда, когда нет однозначности в выделении группы явлений, к которой относится интересующее нас событие.

Скажем, некто Пьер отправился на мотоцикле на работу на улицу Гренель и по дороге наскочил на грузовик. Можно ли ответить, какова вероятность этого грустного происшествия? Без сомнения, можно, но необходимо оговорить исходную ситуацию. А выбор её, конечно, неоднозначен. Ведь можно привлечь к статистике лишь выезды на работу молодых парижан; а можно исследовать группу выездов всех парижан в любое время; можно расширить статистику на другие города, а не ограничиться Парижем. Во всех этих вариантах вероятности будут разными.

Итак, вывод один: когда начинаешь оперировать числами, необходима точность в постановке задачи; исследователь всегда должен формализовать явление – с этим уж ничего не поделаешь.

Вернёмся теперь к игре в кости. Одной костью никто не играет: слишком просто и загодя известно, что вероятность выпадения любой грани – $1/6$, и никаких математических задач в такой игре не возникает.

При бросании трех или даже двух костей сразу появляются проблемы, и можно уже задать, скажем, такой вопрос: какова вероятность появления двух шестёрок? Каждая из них появляется независимо с вероятностью, равной $1/6$. При выпадении шестёрки на одной кости вторая может лечь шестью шестью способами. Значит, вероятность выпадения двух шестёрок одновременно будет равна произведению двух вероятностей ($1/6 \cdot 1/6$). Это пример так называемой теории умножения вероятностей. Но на этом новые проблемы не кончаются.

В начале XVII века к великому Галилею явился приятель, который захотел получить разъяснение по следующему поводу. Играя в три кости, он заметил, что число 10, как сумма очков на трех костях, появляется чаще, чем число 9. «Как же так, – спрашивал игрок, – ведь как в случае девятки, так и в случае десятки эти числа набираются одинаковым числом способов, а именно шестью?» Приятель был совершенно прав. Посмотрите на рисунок, на котором показано, как можно представить девятку и десятку в виде сумм.

Разбираясь в этом противоречии, Галилей решил одну из первых задач так называемой комбинаторики – основного инструмента расчётов вероятностей.

Итак, в чём же дело? А вот в чём.

Важно не то, как сумма разлагается на слагаемые, а сколько вариантов выпадения костей приводят к суммам в «девять» и «десять» очков. Галилей нашёл, что «десять» осуществляется 27 способами, а «девять» – 25. Эмпирическое наблюдение получило теоретическое истолкование. Что же это за разница между числом представлений суммы через слагаемые и числом вариантов выпада костей?

Вот на какую тонкость необходимо обратить внимание. Рассмотрим сначала случай, когда на трех костях три разные цифры, скажем 1, 2, и 6. Этот результат может осуществляться шестью вариантами: единица на первой кости, двойка на второй и шестёрка на третьей; единица на первой, шестёрка на второй, двойка на третьей; также возможны два случая, когда двойка окажется на первой кости и ещё два – когда на первой кости выпадет шестёрка (этот вариант приведён в таблице).

«ДЕВЯТЬ»		«ДЕСЯТЬ»	
$1+2+6$	(1, 2, 6)	$1+3+6$	(1, 3, 6)
$1+6+2$	(1, 6, 2)	$1+6+3$	(1, 6, 3)
$2+1+6$	(2, 1, 6)	$1+4+5$	(1, 4, 5)
$2+6+1$	(2, 6, 1)	$1+5+4$	(1, 5, 4)
$6+1+2$	(6, 1, 2)	$2+3+5$	(2, 3, 5)
$6+2+1$	(6, 2, 1)	$2+5+3$	(2, 5, 3)
$2+2+5$	(2, 2, 5)	$2+4+4$	(2, 4, 4)
$1+2+4$	(1, 2, 4)	$2+2+6$	(2, 2, 6)
$1+4+2$	(1, 4, 2)	$3+3+4$	(3, 3, 4)
$3+3+3$	(3, 3, 3)		
	25		27

Иначе обстоит дело, когда сумма представлена таким образом, что два слагаемых одинаковые, например, $1 + 4 + 4$. Только один вариант такого разложения появится, если на первой кости покажется единица, а на двух других четвёрки, ибо перестановка цифры на второй

и третьей костях не даёт нового варианта. Второй вариант возникает, когда единичка покажется на второй кости, а третий, если она появится на третьей кости. Итого три возможности.

Наконец, ясно, что если сумма разложена на $3 + 3 + 3$, то на костях такое событие осуществляется единственным способом.

В нашей таблице это число вариантов указано в скобках рядом с представлением суммы. Складывая числа в скобках, мы получим 25 и 27, которые нашёл Галилей. Вероятности появления на двух костях сумм 9 и 10 относятся как 25 к 27.

Это с виду простое объяснение не лежало на поверхности. Достаточно сказать, что Лейбниц полагал одинаковыми вероятности появления на двух костях как 11 очков, так и 12. После работы Галилея ошибочность такого заключения стала очевидной: 12 осуществляется единственным способом: двумя шестёрками, а 11 появляется в двух случаях, когда шестёрка на первой кости, а пятёрка – на второй, и наоборот.

При бросании двух костей чаще всего появляется сумма, равная 7. Имеется шесть возможностей набора этой суммы. Суммы 8 и 6 осуществляются уже пятью комбинациями каждая. Проверьте, если хотите, сами наше заключение.

Что наша жизнь – игра

«Чекалинский стал метать, руки его тряслись. Направо легла дама, налево туз.

– Туз выиграл! – сказал Герман и открыл свою карту.

– Дама ваша убита, – сказал ласково Чекалинский.

Герман вздрогнул: в самом деле, вместо туза у него стояла пиковая дама. Он не верил своим глазам, не понимал, как мог он обдёрнуться».

Я не берусь в деталях объяснять читателю, в чём заключалась игра в штосс, столь распространённая в высшем петербургском обществе особенно в первой половине XIX века. Но основная её идея проста. Банкомёт и понтирующий игрок берут по колоде, распечатывают их, игрок выбирает из колоды карту, на которой записывает куш или кладёт на карту деньги. Банкомёт начинает метать, то есть кладёт в открытую карты – направо, налево, направо, налево...

Та карта, что ложится налево, дана, а направо – бита. Легла выбранная вами карта направо – банкомёт забирает деньги, налево – платит вам столько, сколько было поставлено на карту.

В игре есть варианты. Скажем, игроки загибают пароли, или играют мирандомом, или ставят на руте. Не знаете, что это такое? Я тоже. Но главное состоит в том, что штосс – игра с равными шансами для банкомёта и партнёра. Поэтому сильные в художественном отношении сцены, встречающиеся почти у всех русских романистов, где описывается умелая игра одного и беспомощная другого, лишены, так сказать, научного обоснования.

В «Войне и мире» Долохов обыгрывает Ростова вполне планомерно. Долохов решил продолжать игру до тех пор, пока запись за Ростовым не возрастет до 43 тысяч. Число это было им выбрано потому, что 43 составляло сумму сложенных его годов с годами Сони.

Читатель верит, что смелый, резкий и решительный Долохов, которому удаётся все, хорошо играет в карты. А мягкий, добрый, неопытный Ростов, кажется, не умеет играть и не может выиграть. Великолепная сцена заставляет нас верить, что результат карточной борьбы предопределён.

Разумеется, это неверно. Сказать про человека, что он хорошо играет в игру, в которой проиграть и выиграть шансы одинаковы, это значит обвинить его в шулерстве.

Не знаю, как другие, но я не могу избавиться от впечатления, что Арбенин в лермонтовском «Маскараде» – вспомните сцену, когда он садится играть за князя, а зрители комментируют: «Зажглось ретивое», – знает недозволенные приёмы, не допускает, чтобы они были использованы против него и не брезгает применять их сам. Только в этом смысле можно говорить, что игрок хорошо играет в штосс и другие подобные игры.

Герой мог проиграть, а мог с таким же успехом и выиграть. В «честной» игре выигрыши и проигрыши будут чередоваться по закону случая. При долгой игре число удач и неудач будет,

конечно, примерно одинаковым точно так же, как и число выпадов монеты орлом или решкой кверху.

Чтобы оценить реалистичность драматических событий, разыгравшихся в тот вечер, предположим, что Ростов всё время ставил на карту одну и ту же сумму, скажем тысячу рублей. Чтобы проиграть сорок тысяч, нужно, чтобы число проигрышей превосходило число выигрышей на сорок.

«Через полтора часа времени большинство игроков уже шутя смотрело на свою собственную игру», – читаем мы в романе.

Таким образом, проигрыш Ростова свершился часа за два-три. Одна талия, то есть одна раскладка карт, длится, конечно, не более чем одну-две минуты. Значит, число игр было никак не меньше двухсот, скажем для определённости, 120 проигрышей и 80 выигрышей. Вероятность того, что из двухсот игр, по крайней мере, 120 будут проиграны, вычисляется по формулам теории: она близка к 0,1. Вы видите, что проигрыш Ростова – явление, не требующее объяснений, выводящих нас за рамки науки. Он мог бы и выиграть, но по замыслу Льва Николаевича ему надо было проиграть.

Есть лишь одно обстоятельство, которое нарушает равенство игроков, сражающихся в такие игры, как игральные кости или штосс, то есть в игры, где игрокам ничего не надо решать, ибо игрой не предусмотрен выбор (за исключением выбора: играть или отказаться): этим обстоятельством является богатство. Нетрудно видеть, что шансы на стороне того игрока, у которого больше денег. Ведь проигрыши и выигрыши чередуются случайно, и в конце концов обязательно встретится то, что называют «полосой везения» или «полосой невезения». Эти полосы могут быть настолько затяжными, что у партнёра победнее будут выкачаны все деньги. Вычислить вероятность проигрыша не представляет труда: надо лишь возводить одну вторую в соответствующую степень. Вероятность проиграть два раза подряд – это одна четверть ($1/2$), три раза подряд – одна восьмая ($1/2$)... восемь раз подряд – одна шестьдесят четвёртая ($1/2$). Если игра повторяется тысячу раз – а это, наверное, вполне возможно, ибо, как пишут в романах, игроки просиживают за картами ночи напролёт, проигрыш 8 раз подряд будет делом обычным. Разумный игрок (да простится мне подобное сочетание слов) должен быть готов к таким «полосам», и они не должны «выбивать» его из игры вследствие опустошения карманов.



В начале XIX века к «чистым» азартным играм, не требующим от игрока даже ничтожных умственных усилий, прибавилась рулетка. На первых порах она не получила распространения, но уже к 1863 году в столице карликового государства Монако – Монте-Карло создаётся грандиозное рулеточное предприятие. Игорный дом в Монте-Карло быстро стал знаменит. Во многих романах и повестях Монте-Карло выбиралось местом действия, а героем – безумец, собирающийся обогатиться за счёт его величества случая или, того хуже, за счёт изобретения беспроигрышной системы.

Произведения эти вполне реалистичны. Если их дополнить ещё полицейскими протоколами о неудачниках, покончивших с собой из-за крушения надежд стать Крезом за счёт княжества Монакского, то получится увесистый отчёт о пагубном очаровании, которое таит в

себе игорный дом.

Наверное, можно было бы не описывать рулеточное колесо и разграфлённое поле, на клетки которого бросают денежные жетоны. И всё же несколько слов для читателей, незнакомых с художественной литературой о Монте-Карло, сказать стоит. Рулетка – это большая тарелка, дно которой может вращаться относительно неподвижных бортов. Дно-колесо разбито на 37 ячеек, пронумерованных от 0 до 36 и покрашенных в два цвета: чёрный и красный. Колесо закручивается, и на него бросается шарик. Он танцует, беспорядочно перепрыгивая из ячейки в ячейку. Темп колеса замедляется, шарик делает последние нерешительные прыжки и останавливается. Выиграло, скажем, число 14 – красный цвет.

Игроки могут ставить на красное или чёрное; на чёт или нечет; первую, вторую или третью дюжину и, наконец, на номер.

За угадывание цвета или чётности вы получаете денег вдвое больше, чем внесли на игру, за выигрыш дюжины – втрое, за выигрыш номера – в тридцать шесть раз. Эти числа строго соответствовали бы вероятностям появления, если бы не одно маленькое «но» – это ноль (зеро). Зеро – выигрыш банкомёта. При нём проигрывают и поставившие на чёрное, и те, кто надеялся на красный цвет.

Ставя на красное, искатель счастья действует с шансом на выигрыш, равным 18/37: чуть-чуть меньше половины. Но за счёт этого «чуть-чуть» существует государство Монако и получают хорошие дивиденды пайщики Монте-Карло. Из-за зеро игра в рулетку уже не равноценна для игрока и банкомёта. Поставив 37 раз по франку, я в среднем выиграю 18 раз, а проиграю 19.

Если я 37 раз ставлю по франку на 14-й (или какой-либо другой) номер, то в среднем я выиграю один раз из тридцати семи, и за этот выигрыш мне уплатят лишь 36 франков. Так что, как ни крути, при длительной игре проигрыш обеспечен.

Значит, нельзя выиграть в рулетку? Да нет. Конечно, можно. И мы легко подсчитаем вероятность выигрыша. Для простоты положим, что игрок пробует своё счастье каждый день. Ровно в 18.00 он появляется в казино и ставит пять раз по франку на красное.

За год игры герой встретится со всеми возможными вариантами красного и чёрного (точнее, не красного, так как и зеро мы отнесём к чёрному). Вот эти варианты:



Как видно, их всего 32 варианта. Один из них содержит пять *к*, пять – состоит из четырех *к*, десять – из трех *к*. Разумеется, те же числа будут и при подсчёте чёрных случаев (*ч*).

Из составленной таблички мы сейчас увидим все «секреты» рулетной игры. Будем считать, что в году 320 дней рабочих и полтора месяца выходных: работа ведь нелёгкая – сплошная трёпка нервов. Количество дней с разными выигрышами и проигрышами получается от умножения на 10 числа различных комбинаций, приведённых в таблице. Таким образом,

счастливых дней в «среднем» году будет десять. Но зато столько же будет «чёрных» дней сплошного проигрыша. На число «хороших» дней, когда фортуна откажет лишь один раз, придётся столько же дней неудачных, когда лишь один раз появится красный цвет, – их будет пятьдесят. Чаще всего – по сто дней – мы встретимся со случаями, когда выигрышей выпадет три, а проигрышей – два, или наоборот, когда проигрышей три, а выигрышей – два.

Пока результат нашего сражения с рулеткой нулевой. Так что занятие можно было бы считать безобидным, если бы не упомянутое зеро. Мы говорили, что вероятность красного цвета не $1/2$, а $18/37$. Поэтому проигрыши и выигрыши в среднем не уравниваются, и год закончится с убытком для клиентов, поскольку число грустных дней для них будет несколько превышать число радостных. Например, вероятность полностью «красного» дня равна $18/37$ в пятой степени, а сплошь «чёрного» – $19/37$ в пятой степени. Если вы не поленитесь заняться арифметикой, то найдёте, что эти вероятности равны соответственно 0,027 и 0,036. Это значит, что один «красный» день в среднем приходится уже не на 32 дня, а на 36, а один «чёрный» будет встречаться через 28 дней.

Я отдаю себе полностью отчёт, что все эти доказательства о проигрыше «в среднем» не подействуют на азартного игрока. Из наших чисел он прежде всего обратит внимание на то, что всё-таки десяток «красных» дней на год приходится. Кто его знает, подумает он, может быть, именно сегодняшний день и будет таким! Хорошо бы было, если бы этот день оказался для него «чёрным». Он отбил бы у него охоту к играм, и на этом он наверняка выиграл бы, дело это добром никогда не кончается.

А теперь оставим моральные поучения, к которым азартные игроки скорее всего глухи, и рассмотрим ещё несколько рулеточных проблем.

Стоит, пожалуй, обсудить вопрос о «счастливом месяце».

«В этот летний месяц, – прочитал я в воспоминаниях какого-то любителя острых ощущений, – мне здорово везло. За весь месяц я проиграл лишь два раза, не пропустив ни одного дня».

Для простоты будем считать, что вероятность выигрыша равна одной второй ($1/2$). Тогда так же, как при составлении таблички k и $ч$, можно подсчитать вероятности появления «чёрных» дней за месяц. Что же окажется?

Выигрывать 29 и 30 дней в месяц совершенно невыносимо; 28 выигрышных дней имеют вероятность одну миллионную долю; выигрывать 27 дней в месяц можно с шансом одна сотысячная; 26 дней – одна пятнадцатитысячная; 25 дней – одна трехтысячная и 24 выигрышных дня осуществляются с вероятностью в одну тысячную. Лишь это число может внушить мне доверие к автору упомянутого мемуара. Что же касается случая, когда число «красных» дней, по крайней мере, в два раза больше «чёрных» (двадцать и десять), то это уже вполне реальная вещь, ибо соответствующая вероятность равна одной десятой. Тот, кто играет всю свою жизнь, переживал такие счастливые месяцы, но... не надо забывать, что ему пришлось претерпеть такое же число несчастливых месяцев.

Игроки в рулетку (или в другие игры, где ни расчёт, ни психологический анализ «не работают») могут быть поделены на два семейства. Одни играют как попало или по приметам. Скажем, сегодня двадцать третье число, рассуждает такой игрок, это день рождения моей невесты, значит, число двадцать три принесёт мне счастье. Или, думает другой, среди игроков есть некто, которому сегодня дико везёт, – играю как он. И так далее до бесконечности.

Другая группа игроков пытается уловить систему. Разумеется, в этом деле никакой системы нет и быть не может. Такова уж природа случая. И тем не менее я несколько не сомневаюсь, что по мере роста серии $kkkkk$... число игроков, ставящих на «чёрное», будет непрерывно расти. «А как же иначе, – обычно рассуждают они, – ведь длинные серии одинакового цвета встречаются значительно реже. Значит, после пяти или шести „красных“ уж наверное появится „чёрное“».



Абсурдность этого рассуждения очевидна. Оно противоречит очень простой мысли: у рулетки нет памяти, рулетка не знает, что было раньше, и перед каждым броском шарик все прошлое стирает. А если так, то перед каждым броском (даже и таким, который следует после двадцати «красных») вероятность «чёрного» и «красного» одинакова.

Правильно? Вы не находите аргументов против этого простого рассуждения? Да их и нет.

– Позвольте, – вмешивается читатель, которого назовём рассеянным, – вы же сами писали, что длинные серии бывают редко. И чем они длиннее, тем реже выпадают.

– Ну и что же? – поддерживает автора читатель внимательный. – Это не имеет ни малейшего отношения к утверждению, что у рулетки отсутствует память

– То есть как не имеет? – сердится рассеянный читатель. – Пять «красных» бывает реже, чем четыре, а шесть реже, чем пять. Значит, если я ставлю на «чёрное» после того, как «красное» вышло четыре раза подряд, я и следую теории вероятностей, которую автор пытается нам втолковать.

– Нет, не следуете. Серий из пяти «красных» ровно столько же, сколько из четырех «красных» подряд и одного «чёрного»: *ккккк* и *ккккч* имеют равные вероятности.

– Как так?! Ведь автор говорил пять «красных» бывает реже, чем четыре «красных»?

– Нет, мой дорогой, автор говорил не так. Из пяти игр появление «красного» цвета пять раз реже, чем появление четыре раза «красного» из пяти в любом порядке. Вы лучше вернитесь к табличке на странице 17 [ссылка].

Рассеянный читатель с недовольным видом листает книгу.

– Нашли? Вы видите, *ккккк* встречается один раз, а четыре «красных» в серии из пяти игр (*ккккч*, *кккчк*...) встречаются четыре раза.

– Так я же прав!

– Ничего вы не правы. Вариант-то *ккккч* всего лишь один.

– ?!!!

– Начинаете понимать? Вот в том-то и дело. Конечно, чем одноцветная серия длиннее, тем она реже встречается. Но серия в десять «красных» имеет ту же вероятность, что девять «красных» подряд с завершением на «чёрном» цвете. Серия в двадцать «красных» будет встречаться столько же раз, сколько серия из девятнадцати «красных» и двадцатого «чёрного». И так далее.

– Я, кажется, действительно понял. Как странно! На чём же тогда основывается это столь распространённое заблуждение?

– Ну это уже область психологии, – удовлетворённо улыбается внимательный читатель. – Но, мне кажется, дело здесь в том, что у игрока создаётся впечатление, что появление длинных серий нарушает равновесие «красного» и «чёрного», и рулетка должна немедленно рассчитаться за нарушение этого равновесия. А то, что такая расплата означает наличие

сознания у рулетки, игроков не волнует.

Поблагодарив внимательного читателя, последуем дальше.

Другое распространённое заблуждение состоит в том, что можно наверняка выиграть, удваивая ставки. Опять же в основе этой «системы» лежит идея о редкости длинных серий. Скажем, я ставлю один франк на «красное» и проигрываю; ставлю два, опять проигрываю; ставлю четыре... В конце концов я выигрываю. И тогда не только возвращаю свой проигрыш, но и остаюсь в определённом выигрыше. Действительно, пусть мною проигран один франк, затем два, затем ещё четыре, потом восемь, то есть всего пятнадцать монет, а следующая ставка – шестнадцать – приносит удачу в 32 монеты. Итак, за потраченный 31 франк я получаю 32 франка. Чистый доход – один франк.

Кажется, что при таком поведении выигрыш обеспечен. Однако эта стратегия также порочна. Действительно, число серий *ччччк* равно числу серий *ччччч*, то есть число выигрышей на пятом броске равно числу проигрышей на этом же пятом броске, число выигрышей на шестом броске равно числу проигрышей на шестом броске и так далее. Поэтому удвоение приведёт к проигрышу из-за наличия зера даже в том случае, если у игрока очень много денег. А если их немного, то момент, когда удваивание полностью опустошит карманы, наступит весьма быстро.

Итак, нет и не может быть системы, которая позволила бы выиграть в такую игру, как рулетка, в игру чистого случая. Выиграть можно, лишь если рулетка работает не по принципу случая, например, если колесо слегка перекошено и какие-то участки оно проходит с повышенным трением. Но такую штуку надо подметить, как это сделал весёлый, умный и наблюдательный герой Джека Лондона – Смок Беллью. Заметив, что из-за того, что рулетка стоит у печки и колесо её в одном месте разохлось, некоторые номера появляются чаще, он без труда сорвал банк.

Я читал в газетах, будто, записав длинную последовательность появления номеров рулетки какого-то игорного дома, поручили электронной вычислительной машине выяснить, с равной ли вероятностью появляются её номера. Я уже не помню, чем заканчивалось газетное сообщение и также не уверен в его справедливости. Но идея попытаться воспользоваться для выигрыша порчей рулетки, как мне кажется, верна. Вполне возможно представить, что в какой-то момент рулетка начинает капризничать и условия равной вероятности остановки колеса начинают нарушаться.

Однако, чтобы игроки могли использовать в своих целях эту неисправность, нарушение симметрии должно быть достаточно большим. Но тогда его, наверное, раньше обнаружит крупье и устранил. Впрочем, это не моя тема, и я не собираюсь учить читателей, как обыгрывать Монте-Карло.

Чтобы покончить с играми, построенными на чистом случае, скажем несколько слов о лотереях. По сути дела, это та же рулетка, только играют в ней на номера. И номеров не 36, а много больше.

Перед тиражом денежно-вещевой лотереи число желающих приобрести билеты сильно возрастает. Потолкайтесь среди покупателей, и увидите, что одни предпочитают слепое счастье – тянут билет наудачу, другие выбирают «хороший» номер. Желающих взять билет номер 777777 очень мало. Вы можете сколько угодно убеждать жаждущих получить автомобиль за тридцать копеек, что для этого одинаково пригодны (непригодны) любые билеты (вероятность выпадения выигрыша на все номера совершенно одинакова), тем не менее вам возразят, что никогда не встречали в таблицах выигрышей номера, составленного из одних и тех же цифр. Рассуждение это ошибочно, и ошибочность его после наших разговоров о рулетке достаточно очевидна. Номер, скажем, 594766 столь же уникален, сколь и номер 777777, и, безусловно, встречается в таблицах выигрышей также редко. Но желающий поиграть в лотерею сравнивает вероятность вполне определённого номера, состоящего из семёрок, со всеми номерами вроде 594766. Ясно, что номеров, похожих на этот, то есть обладающих единственной особенностью состоять из беспорядочного ряда цифр, во много раз больше, чем номеров с одинаковыми цифрами. Само собой разумеется, что вероятность выигрыша каким-либо номером вроде 594766, то есть состоящим из произвольного ряда цифр, несоизмеримо велика в сравнении с вероятностью выигрыша по одному из девяти (только девяти: из шести единиц, шести двоек,

..., шести девяток) билетов, состоящих из одинаковых цифр. Но ведь непохожесть не должна интересовать человека, выбирающего билет. Его проблема – вероятность выигрыша выбранным билетом! А вот она-то ничуть не отличается от вероятности выпадения выигрыша на номер из семёрок.

Смешное заблуждение. Его психологический источник лишь один: отсутствие номера из семёрок бросается в глаза, а отсутствие конкретного номера, состоящего из беспорядочной последовательности цифр, остаётся незаметным.

Азарт и расчёт

Мы закончили обсуждение игр, в которых участник – пешка, которой ходит случай. Такие игры, как рулетка, штосс или кости, должны нравиться, с одной стороны, людям резкого, импульсивного действия (им нет времени подумать), а с другой стороны – людям слабовольным, которые охотно вверяют свою судьбу в чужие руки.

Игры, в которых надо принимать решения, значительно интереснее и для литератора, и для психолога.

«Но вот, наконец, в три часа ночи игрокам пошла карта. Настал вожделенный миг, которого неделями ждут любители покера. Весть об этом молнией разнеслась по Тиволи. Зрители затаили дыхание. Говор у стойки и вокруг печки умолк. И все стали подвигаться к карточному столу. Соседняя комната опустела, и вскоре человек сто с лишним в глубоком молчании тесно обступили покеристов».

Так начинается рассказ об игре в покер в романе Джека Лондона «Время не ждёт». За столом пять игроков. Герой романа Харниш и его друзья Луи, Кернс, Кэмбл и Макдональд – все золотоискатели. Сцена борьбы – салун Тиволи в маленьком посёлке на Дальнем Севере.

Покер у нас мало распространён. Прошу ещё раз у читателя извинения, что приходится уделять внимание столь малоуважительному занятию, как разъяснение правил карточной азартной игры покер. Кстати говоря, слово «азарт» приобрело в русском языке новый смысл. Ведь это перевод французского слова *hazard*, что означает «случай» (до революции писали – азардные игры). Так что азартные игры – это игры, построенные на случае, что звучит уже вполне научно и респектабельно.

Однако вернёмся к делу, то бишь к покеру. У каждого игрока по пять карт на руках. Сила карт зависит от того, образуют ли две из них, или три, или четыре, или все пять какую-либо из следующих комбинаций, расположенных нами в порядке возрастания мощи: пару (скажем, две дамы); две пары (это понятно); тройку (например, три валета); стрит (допустим, десять, валет, дама, король, туз); тройку и пару (это тоже понятно); цвет (все карты одной масти); каре (четыре одинаковые); королевский флеш (одноцветный стрит). В покере картами не ходят. Смысл игры состоит в торговле при закрытых картах, причём эта торговля происходит в два приёма. Впрочем, предоставим слово Джеку Лондону.

«Торговаться начали втёмную – ставки росли и росли, а о прикупе никто ещё и не думал. Карты сдал Кернс. Луи-француз поставил сто долларов. Кэмбл только ответил (то есть поставил столько же. – *А. К.*), но следующий партнёр – Элам Харниш – бросил в котёл пятьсот долларов, заметив Макдональду, что надо бы больше, да уж ладно, пусть входит в игру по дешёвке. (То есть «всего лишь» за пятьсот долларов, ибо по правилам игры каждый следующий должен поставить по крайней мере столько же, сколько предыдущий по кругу игрок. – *А. К.*)

Макдональд ещё раз заглянул в свои карты и выложил тысячу. Кернс после длительного раздумья ответил. Луи-француз тоже долго колебался, но всё-таки решил не выходить из игры и добавил девятьсот долларов. Столько же нужно было выложить и Кэмблу, но, к удивлению партнёров, он этим не ограничился, а поставил ещё тысячу.

– Ну, наконец-то дело в гору пошло, – сказал Харниш, ставя тысячу пятьсот долларов и, в свою очередь, добавляя тысячу, – красotka ждёт нас за первым

перевалом. Смотрите, не лопнули бы постромки!

– Уж я-то не отстану, – ответил Макдональд и положил в котёл на две тысячи своих марок да сверх того добавил тысячу.

Теперь партнёры уже не сомневались, что у всех большая карта на руках».

Хоть и жалко прерывать захватывающее повествование, но нам надо разобраться в происходящем с точки зрения нашей темы.

Решая, участвовать ему в игре или нет, подравнять свою ставку к уже сделанным или поднять ставку повыше, игрок так или иначе оценивает вероятность своего выигрыша. (Блеф в крупной игре исключён; в конечном счёте при крупной игре всех партнёров не запугаешь, и они не бросят карты, махнув рукой на уже попавшую в котёл ставку, а когда их придётся открыть, то выиграет тот, чья карта сильнее.)

Разумеется, практически игроки не вычисляют значение вероятности выигрыша и руководствуются лишь опытом. Но если опыт большой, то одно сводится к другому: игрок подсознательно решает сложную задачу, определяя вероятность того, что на руках партнёров находятся комбинации более высокие, чем у него. Кроме того, в первом туре торговли он учитывает, насколько «прикупной» является карта.

Но не будем останавливаться на доприкупной ситуации. Подсчёт шансов на выигрыш здесь слишком затруднителен, и, главное, на этой стадии игры рисковый или осторожный характер партнёров являются неизвестными величинами, которые мешают решить уравнение.

Пропускаем две страницы романа. Двое игроков выходят из игры, считая свои шансы на выигрыш ничтожными. Остаются трое. Первый тур торговли завершён, то есть ни один из оставшихся трех игроков не желает рисковать большей суммой до прикупа.

«Прикуп состоялся в гробовой тишине, прерываемой только тихими голосами играющих. В котле набралось уже тридцать четыре тысячи, а до конца игры ещё было далеко... Харниш отбросил восьмёрки и, оставив себе только трех дам, прикупил две карты...

– Тебе? – спросил Кернс Макдональда.

– С меня хватит, – последовал ответ.

– А ты подумай, может, всё-таки дать карточку?

– Спасибо, не нуждаюсь.

Сам Кернс взял себе две карты, но не стал смотреть их. Карты Харниша тоже по-прежнему лежали на столе рубашкой вверх.

– Никогда не надо лезть вперёд, когда у партнёра готовая карта на руках, – медленно проговорил он, глядя на трактирщика. – Я – пас. За тобой слово, Мак.

Макдональд тщательно пересчитал свои карты, чтобы лишней раз удостовериться, что их пять, записал сумму на клочке бумаги, положил его в котёл и сказал:

– Пять тысяч.

Кернс под огнём сотни глаз посмотрел свой прикуп, пересчитал три остальные карты, чтобы все видели, что всех карт у него пять, и взялся за карандаш.

– Отвечаю, Мак, – сказал он, – и набавлю только тыщонку, не то Харниш испугается.

Все взоры опять обратились на Харниша. Он тоже посмотрел прикуп и пересчитал карты.

– Отвечаю шесть тысяч и набавляю пять...»

Итак, один из партнёров остался при своей карте. Ясно, что у него комбинация из четырех или пяти карт, и притом сильная, то есть никак не ниже «цвета». Очевидно также, что у обоих партнёров, поменявших две карты, на руках каре. Действительно, если бы к своей тройке они не купили бы такую же четвертую карту, то бросили бы свои карты, спасовали.

Каждый из игроков подсознательно, на основе опыта, может оценить вероятность того, что у партнёров на руках более крупная карта, чем у него, и соответственно вести торговлю, учитывая, кроме того (вот здесь-то расчёты нам не помогут), характер партнёров.

После нескольких туров торговли никто из игроков не желает рисковать большими

суммами, и наступает кульминационный момент игры.

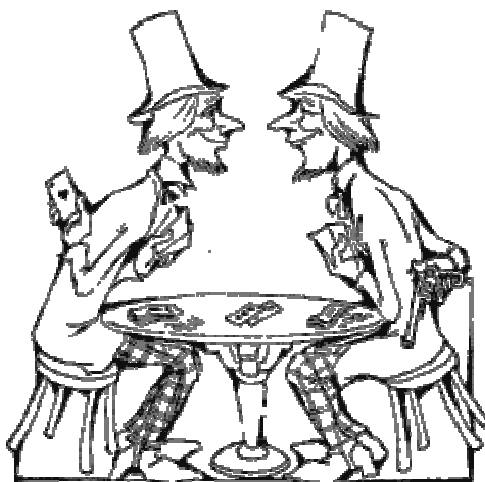
«Ни один из игроков не потянулся за котлом, ни один не объявил своей карты. Все трое одновременно молча положили карты на стол; зрители бесшумно обступили их ещё теснее, вытягивая шеи, чтобы лучше видеть. Харниш открыл четырех дам и туза; Макдональд – четырех валетов и туза; Кернс – четырех королей и тройку. Он наклонился вперед и, весь дрожа, обеими руками сгрэб котёл и потащил его к себе».

Игра окончена, и мы можем перейти к математическим комментариям. Можно не сомневаться, что герои Джека Лондона теории вероятностей не знали и не производили в уме математических подсчетов для выработки своей игровой политики. Но действовали они в полном согласии с теорией.

Обратите внимание на одну интересную деталь игры. Два игрока меняли две карты из пяти. С очень большой уверенностью можно предполагать, что они прикупали к трём одинаковым, рассчитывая набрать каре. Так как после прикупа они смело повышали ставки, то прикуп наверняка был счастливым. Итак, Макдональд знал, что он вступает в битву с двумя каре. Кажется, что его противники попали в более сложную ситуацию. Макдональд карт не менял. Значит, на руках у него либо каре, либо самая старшая комбинация – королевский флеш. Но динамика набавления ставок показывает, что Харниш и Кернс не допускали мысли о том, что у Макдональда на руках королевский флеш. То есть, используя словарь этой книги, считали, что вероятность королевского флеша слишком мала.

Что же, пожалуй, они были правы. Игра, видимо, шла в 52 карты, флеша могут начинаться с двойки, тройки и т.д., до десятки. Значит, их может быть в каждом цвете 9, а всего 36. А сколько каре даёт комбинация карт? Могут быть каре двоек, каре троек и т.д., каре тузов: всего 13 каре. Но каре – это четыре карты, а у каждого игрока на руках их пять. При этом пятая может быть любой из остающихся 48. Таким образом, общее число комбинаций из пяти карт, которые приводят к каре, равняется 624, что примерно в 17 раз больше числа возможных флешей.

Итак, наверное, каждый из трех партнёров вёл игру, считая, что у противников на руках та же комбинация, что у него самого, а именно каре. Но у кого какое? Неужто при решении этого вопроса, столь важного для наших трех игроков, можно заменить отгадывание наобум какими-то логическими рассуждениями и использовать теорию вероятностей? Оказывается, можно. И успешные подходы к задачам такого типа, требующим не только подсчёта числа возможных комбинаций, но и учёта психологии участвующих в игре, разрабатываются в так называемой «теории игр».



По поводу тактики игры трех лондонских героев можно лишь заметить следующее: каждый из них полагал, что у противников одно из самых старших каре, так как трудно было бы допустить, что с тремя шестёрками или тройками на руках кто-либо отважился бы вести столь смелый бой, начавшийся ещё до прикупа. Разумеется, в наилучшем положении был Кернс (у него было четыре короля и тройка), который знал, что его могут побить только четыре туза (если не говорить о флешах). Он знал, что лишь один из партнёров может быть сильнее его, и

поэтому мог играть с вероятностью выигрыша $1/2$. В таком же положении был Харниш (у него было четыре дамы и туз), который знал, что его могут побить лишь четыре короля (ведь один из тузов был его пятой картой, и он, таким образом, мог быть уверен, что каре тузов вне игры). Больше всего рисковал Макдональд (у него четыре валета и туз) – ему было известно, что его карта бьётся двумя комбинациями. Я бы оценил вероятность выигрыша Макдональда в $1/4$.

Но, повторим ещё раз, ограничиваться подсчётом возможных комбинаций, играя в покер, это значит почти наверняка остаться в проигрыше. Успех в данной игре зависит не столько от карт, сколько от наблюдательности и волевых качеств. В отличие от штосса в покер можно играть и хорошо, и плохо.

Вернёмся опять к нашим подсчётам и обсудим ещё вероятности прикупа. И здесь оценки вероятностей разных комбинаций чрезвычайно уместны и, разумеется, используются опытными игроками. Положим, надо решить, что лучше: имея на руках три дамы, валета и восьмёрку, как это было у Харниша, погнаться за четвёртой дамой или сбросить восьмёрку в расчёте получить ещё одного валета. В первом случае вероятность равна сумме $1/47 + 1/46$, во втором – $3/47$. Таким образом, второй вариант лишь в полтора раза лучше первого. Поскольку первый вариант приводит к более богатой комбинации, то правильное решение – скинуть две карты и «искать» даму.

Мы рассмотрели два класса игр: такие, как рулетка или штосс, где вероятностные расчёты не могут помочь в выработке игровой стратегии, ибо любая игра в лучшем случае приводит к проигрышу и выигрышу с равными вероятностями, и где отсутствуют элементы психологической борьбы; и такие, как покер, где вероятностные подсчёты оказывают известную помощь игроку, психологическая борьба играет важную, если не главную, роль.

Теперь остановимся на играх, результат которых зависит от умения игрока правильно оценивать вероятности тех или иных событий и почти не связан с проникновением в психологию партнёра. Игры такого типа называются не азартными, а коммерческими. Классическим представителем коммерческих игр является преферанс. Эта игра распространена у нас достаточно широко, и я не стану разъяснять её правила.

Приведём из этой игры несколько типичных задач и покажем, на каких принципах основываются манеры игры хороших игроков. В преферансе каждая масть представлена восемью старшими картами. В подавляющем числе актов игры у «играющего» имеется на руках четыре – реже пять козырей. Смотришь только в свои карты, он, «играющий», раздумывает, как разделились между «вистующими» отсутствующие у него козыри. Ведь, чтобы объявить свою игру, надо ему рассчитать, сколько надеется он взять взяток, а это, в свою очередь, зависит от того, как распределились козыри у партнёров. Если у них четыре, то возможны три варианта: четыре на одной руке; разделились на три и один; наконец, – мечта «играющего» – разделились поровну: два и два. Если у «играющего» пять козырей, то у «вистующих» возможностей две: либо три на одной руке, либо два и один.

Для подсчёта вероятностей надо, как мы знаем, считать число комбинаций.

Пусть у меня – «играющего» – на руках туз, король, семёрка и восьмёрка козырей. У моих партнёров – Петра Ивановича (П. И.) и Николая Васильевича (Н. В.) – дама, валет, десятка, девятка. Как они разложились – неизвестно. Если мне очень не повезло, то есть все отсутствующие у меня четыре козыря оказались на одной руке, то они могут быть либо у П. И., либо у Н. В. Это два случая. Козыри могут разделиться и так: у П. И. один из четырёх, у Н. В. три. Таких случаев, конечно, четыре. Ещё четыре случая имеется, когда один из козырей находится у Н. В., а три у П. И. И шесть вариантов появляется, когда козыри распределяются пополам: дама и валет; дама и десятка; дама и девятка; валет и десятка; валет и девятка; наконец, десятка и девятка. (Множить на 2 не надо, так как, если дама и валет у П. И., то десятка и девятка у Н. В. и так далее.)

Всего случаев шестнадцать. Следовательно, вероятность наскочить на вариант, когда все козыри на одной руке – $2/16$ ($1/8$). Только очень осторожные игроки и при очень крупной игре считаются с возможностью такой неприятности. А хорошие игроки в нормальной игре ею пренебрегают. Но и рассчитывать на то, что козыри разделились пополам, они тоже не станут, ибо вероятность этого события $6/16$ ($3/8$) все же меньше половины.

Подавляющее большинство опытных игроков, назначая игру, предполагают, что наиболее

вероятный расклад не хуже, чем «три – один». И они правы, так как в 14 случаях из 16 (6 случаев расклада пополам и 8 случаев расклада «три – один») недостающие козыри разложатся благоприятно. Вероятность такой ситуации – $14/16$ ($7/8$). А это близко к единице.

Если у «играющего» на руках пять козырей, назначение игры в большой степени зависит от его темперамента, ибо вероятность наткнуться на три козыря на одной руке равна $1/4$. Действительно, из всех 8 вариантов (2 – по три козыря, 3 – по одному козырю и 3 – по два козыря) вероятность такого события равна $2/8$ ($1/4$).

И ещё одна задача на подсчёт комбинаций. Для преферансиста интересен расклад не только козырей, но и второй масти. Рассмотрим случай, когда у «играющего» на руках две масти по четыре карты. Одна масть козырная, другую, как говорят, надо разыграть, то есть постараться и на ней взять побольше взяток. И в этом случае решающим является расклад карт, но теперь обеих мастей по рукам «вистующих» партнёров. Как назначить игру? С какими раскладами следует считаться?

Комбинации карт (одна масть чёрная, вторая красная), которые могут очутиться на одних руках «вистующих», рассчитываются следующим образом. Четыре карты, как говорилось выше, распределяются 16 способами. А на каждую комбинацию чёрной масти приходится 16 вариантов распределения красных карт. Всего же вариантов будет (16), то есть 256.

Какие комбинации могут быть? Ну прежде всего поистине трагическая, когда четыре чёрные и четыре красные на одной руке. Таких будет две: все восемь карт или у П. И., или у Н. В. Их вероятность очень мала $2/256$ ($1/128$), и заядлые преферансисты вспоминают такие проигрыши (а они бывают) как чёрный кошмар и на них не рассчитывают.

А какова вероятность самого желанного для «играющего» расклада, то есть по две чёрные и две красные карты на каждой руке «вистующих»? Так как для одной масти таких комбинаций шесть, то есть всего (6), то есть 36. Вероятность этого светлого исхода равна $36/256$ ($1/7$). На такой вариант опытные игроки, разумеется, также не рассчитывают. Остаётся среднее.

Волнующий момент игры в преферанс – приобретение прикупа. Прикуп – это 2 закрытые карты из 32. «Свои» карты – их 10 – преферансисту известны, а 2 карты (прикуп) из 22 он должен «угадать».

В каждом отдельном случае игрок делает свой расчёт. Всё зависит от того, какие карты у него на руках и на что он рассчитывает, торгуясь за прикуп.

Положим, он надеется купить пятого козыря к своим четырём. Среди 22 не его карт 4 не его козыря. Значит, вероятность лежащей в прикупе карты быть козырем $4/22$, а не быть им – $18/22$.

Две карты лежат рядышком рубашкой кверху. Возможны четыре случая: та, что слева, – нужный ему козырь – раз, та, что справа, тоже козырь – два, обе карты козырные – три, нет в прикупе козырей – четыре. По теореме умножения вероятности этих событий равны: $(4/22 \cdot 18/22)$; $(18/22 \cdot 4/22)$; $(4/22 \cdot 4/22)$; $(18/22 \cdot 18/22)$, а это даёт 0,148; 0,148; 0,034; 0,670 (в сумме, разумеется, единица).

Какая карта слева, какая справа, игроку всё равно. Так что шанс у него на удачу равен $0,148 + 0,148 = 0,296$, то есть почти 30 процентов. Как, стоит ему рисковать?

Есть такое выражение – «прикупная карта». Пусть у нашего «героя» на руках по три «сильные» карты трех мастей и одна карта из четвёртой масти, скажем, из пик. Достаточно ему приобрести одну любую (кроме пики), чтобы получилась выигрышная игра. Среди 22 не его карт 7 пиковой масти (у него одна), следовательно, вероятность пики $7/22$, вероятность любой из карт других мастей – $15/22$. Его погубит лишь один вариант – в прикупе 2 пики: вероятность этого случая ($7/22$), то есть около 0,1.

Значит, 90 процентов шансов за то, что его покупка будет удачной и ему есть смысл рисковать.

Я знал одного человека, который не очень любил трудиться. Если ему удавалось наскрести денег на билет в сторону «туда», он садился в поезд и отбывал на юг, в края неги и загара, имея в кармане несколько рублей. Насколько мне помнится, все эти путешествия кончались одинаково: он возвращался довольный, загорелый и даже потолстевший. Как же он устраивался? Очень просто: он играл в преферанс (а играл он безупречно). Это не значит, что он выигрывал каждую игру. Но любое назначение, любой его ход был оправдан вероятностным

подсчётом, который он производил подсознательно, на основе своего богатейшего опыта. Когда его спросили, не боится ли он нарваться на игроков, которые играют не хуже его, он ответил, что садится играть только после того, как понаблюдает за игрой своих будущих жертв.

Как видите, случайностей карточного расклада он не боялся.



Из всего сказанного можно сделать вывод, что в таких играх, как преферанс, много важнее правильно назначить игру (то есть в соответствии с теорией вероятностей); правильно выбрать тактику игры; играть столь совершенно, чтобы каждый ход был верным (то есть согласным с теорией вероятностей), нежели быть удачливым в прикупе или в раскладе карт у «вистующих». Значит, выигрыш в преферансе не зависит от случая? Нет, зачем такое крайнее суждение. Зависит. Но только тогда, когда партнёры одинаково хорошо или одинаково плохо играют. Поэтому, если Пётр Иванович и Николай Васильевич встречаются с одними и теми же равными им по умению партнёрами по субботам и проворачивают пару пулек, то результат такой игры за долгий срок обязательно будет нулевым. Случай вступит в свои права и уравнивает выигрыши и проигрыши по той же причине, по которой Монте-Карло заканчивает свой рабочий день примерно равными числами «красного» и «чёрного».

Что же касается систематического выигрыша в такие игры, как преферанс, то он может быть лишь в том случае, если один игрок играет лучше другого. А «лучше» – это значит, что он сознательно или подсознательно правильно оценивает вероятность расклада карт, вероятность прикупа нужной карты и прочее.

Ещё одно воспоминание. Тоже порядочно лет назад мы отдыхали с одним из крупнейших физиков нашего века, Львом Давидовичем Ландау. Ландау, или, как мы его звали, Дау, в карты никогда не играл, и чувство азарта ему знакомо не было. Но как-то раз его уговорили принять участие в довольно глупой карточной игре, которая называется «Спекуляция». Банк в этой игре забирает тот, у кого на руках старший козырь. Все партнёры по очереди открывают свои карты. Допустим, открылась дама бубен: бубны козырь. Дама выиграет, если среди оставшихся, подлежащих открытию карт не окажется короля или туза бубен. Владелец дамы имеет право продать даму, а любой из партнёров купить её. Между ними начинается весёлая торговля. Даму покупают, а через две карты открывается король, и промахнувшегося покупателя поднимают на смех. Нетрудно видеть, что цена, которую можно предложить за даму, может быть строго вычислена. Известно, сколько карт вышло, сколько остаётся нераскрытыми в колоде, следовательно, можно подсчитать вероятность появления короля и туза. Дау каждый раз проделывал эту работу. А так как считать надо очень быстро, то он был очень сосредоточен и смешно контрастировал с остальными игроками, которые делали из этой игры весёлую забаву. Разумеется, никто из нас не соразмерял цены карты с вероятностью того, что она будет перебита последующими картами. Все играли наобум, кроме Дау. К нашему удивлению, через час игры обнаружилось, что Дау в «солидном» выигрыше. Он был очень доволен.

При полной осведомлённости, то есть при правильной оценке вероятности события, сумма выигрышей и проигрышей будет стремиться к нулю. Так же как игрок в карты, знаток

лошадей на бегах может обыграть других лиц только в том случае, если он оценивает вероятности события правильно, а они ошибаются.

В связи со сказанным интересно остановиться на заблуждении игроков на ипподроме. Им кажется, что хорошее знание лошадей есть залог успешной игры. Дело, однако, обстоит не так, и игрок, ничего не понимающий в лошадях, за долгий период игры придёт к такому же финансовому результату, что и знаток. А поскольку ипподром снимает существенный процент ставок, то этим результатом будет, конечно, проигрыш.

Такое положение дел возникает по той причине, что ставки на лошадей, грубо говоря, распределяются пропорционально вероятностям их выигрыша. Но сумма выплаты за выигравшую лошадь обратно пропорциональна вероятности выигрыша. Эта сумма определяется весьма просто: все сделанные ставки складываются и делятся на число билетов, поставленных на выигравшую лошадь.

Здесь полная аналогия с игрой в рулетку, когда сравнивается стратегия двух игроков, один из которых ставит только на «красное» и «чёрное», а другой только на «номера». У первого вероятность выигрыша равна $1/2$, а у второго – $1/36$. Первый будет выигрывать часто, но мало; второй редко, но большими суммами. В конечном счёте выигрывает зеро, то есть оба игрока проиграют.

Из сказанного следует, что вмешательство, даже самое маленькое, случайности уже делает единичное событие, строго говоря, непредсказуемым, а всю область явлений позволяет зачислить по ведомству проблемы вероятности. К этому важному заключению мы ещё вернёмся, когда вместо карт, рулетки и бегов займёмся поведением молекул.

Закон, найденный Бернулли

Вероятность того, что при случайном броске монета ляжет гербом кверху равняется $1/2$. Значит, зная вероятность события, мы можем предсказать, что при стократном бросании монеты герб появится 50 раз? Не обязательно точно 50. Но что-нибудь около этого непременно.

Предсказания, использующие знание вероятности события, носят приблизительный характер, если число событий невелико. Однако эти предсказания становятся тем точнее, чем длиннее серия событий.

Заслуга этого открытия принадлежит Якову Бернулли (1654–1705). Он был замечательным исследователем. Конечно, и Галилей, и Паскаль, и другие мыслители, которые вводили вероятность как дробь, равную отношению благоприятных случаев к общему числу возможных вариантов, превосходно понимали, что на опыте предсказания комбинаторных подсчётов осуществляются приблизительно. Им было ясно, что число бросков, при которых монета ляжет гербом кверху, не равно в точности, а лишь близко к половине от общего числа бросков, а число бросков кубика, приводящих к шестёрке сверху, не равно в точности, а лишь близко к $1/6$ от общего числа бросков. Но насколько близко, сказать они не могли. На этот вопрос ответ дал Яков Бернулли. Открытый им закон, который мы называем «законом больших чисел», лежит в основе статистической физики; без этого закона не могут обойтись статистики ни одной области знания.

Сущность этого закона весьма проста.

Положим, «честная» монета бросалась тысячу раз, потом ещё тысячу раз, потом ещё... И так много раз. Разумеется, герб редко появится ровно 500 раз. Будут серии, где отношение числа появляющихся гербов к 1000 будет совсем близко к $1/2$, и такие серии, где отклонение будет довольно значительным. Каким закономерностям подчиняется это отклонение от теоретической вероятности? И – самое главное – как будет меняться отклонение от вычисленной вероятности с увеличением числа бросков?

Яков Бернулли строго доказал, что разности отношения удачных бросков к общему числу бросков и теоретического числа вероятности (в нашем примере – отклонения от $1/2$) уменьшаются с возрастанием числа бросков, и эти отклонения могут быть сделаны меньше любого малого, наперёд заданного числа.

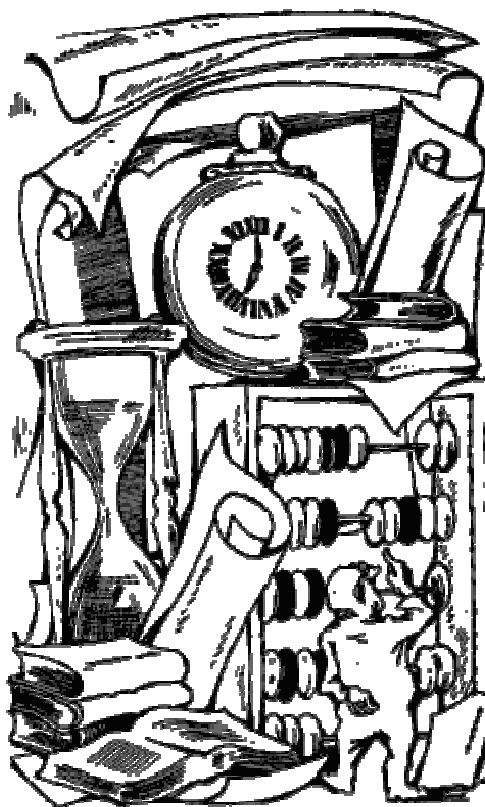
Отношение числа удачных бросков к общему числу бросков называют «частотой». Закон больших чисел можно сформулировать и так: *по мере увеличения числа опытов «частота»*

события сближается со значением вероятности .

Отклонения «частоты» от вероятности при большом числе бросков, измеряемом тысячами, становятся совсем незначительными. О результатах своих немудрёных опытов по бросанию монеты поведали миру математики XVIII века. В одном таком опыте герб выпал 2028 раз при общем числе бросков 4000; когда число бросков достигло 12 000, то оказалось, что герб появился 6019 раз; наконец, при числе бросков 24 000 герб выпал 12 012. Частоты при этом изменялись так: 0,507; 0,5016 и 0,5005.

Однако надо ясно представлять себе, что это сближение «частоты» с вероятностью есть лишь общая тенденция. Может случиться, что отклонения от вероятности для меньшего числа опытов окажутся такими же или даже меньшими, как и отклонения при большом числе опытов. Вообще же эти отклонения от предельных законов вероятности носят также статистический характер.

Часть вторая Дела житейские



Вероятность, которой можно и должно пренебречь



Любители парадоксов часто пытаются убедить читателя в противоречиях, которые якобы часто встречаются в проблемах вероятности.

Парадоксы возникают обычно в том случае, если игрой слов пытаются подменить практическую постановку вопроса. Вот пример.

Капитан пожарной команды собирается провести учения. Разумеется, тревога должна быть неожиданной, и он решает выбрать день учений броском игральной кости: единица – понедельник, двойка – вторник... шестёрка – суббота (воскресенье у пожарной команды выходной). Казалось бы, всё ясно, и день тревоги будет выбран в соответствии с законами случая. Однако предположим, что проходит понедельник, вторник... наконец, пятница, а тревоги нет. Значит, наверняка она будет в субботу. А такого положения допустить нельзя, ведь случайность изгнана. Значит, выбор дней тревоги с элементом случая надо ограничить пятницей. Но, владея сим методом рассуждения и не дождавшись тревоги в четверг, пожарники будут твёрдо знать, что её объявят в пятницу. И тогда дни учений надо ограничить четвергом. Но, не дождавшись тревоги в среду, пожарники будут твёрдо знать, что произойдёт в четверг. Также отпадает и среда, и вторник...

Рассуждение это бессмысленно и вовсе не потому, что в понятии вероятности есть противоречия, а потому что полностью лишена содержания сама постановка вопроса. Ясно, что в понедельник утром пожарники могут ожидать проверки в любой из 6 дней, а во вторник в любой из 5, а в среду в любой из 4 и т.д. Парадокс, как всегда, результат игры слов и отрыва слов от действий.

Обращаясь к математику, прошу его написать подряд десять случайных цифр. Он, хитро улыбаясь, пишет подряд десять единиц, а я изображаю на своём лице недоумение. Математик снисходительно поясняет: «Я десять раз подряд бросил монету. Она десять раз упала цифрой кверху. Я обозначил единицей выпадение цифры, и вот вам результат моего опыта. Вы ведь не станете отрицать, что это явление случайное, и также ясно представляете себе, что подобное событие (то есть выпадение цифры 10 раз подряд) вполне возможно – его вероятность около одной тысячной? А с такой вероятностью следует считаться».

Все правильно. Только не следует делать из этого вывод, что в понятии «вероятность» заключены какие-то противоречия и неясности.

Прежде всего отдавайте, пожалуйста, себе ясный отчёт, о чём идёт речь – о вероятности серии событий (вероятность выпадения монеты десять раз кряду гербом кверху) или о вероятности *одного* случайного события.

О сериях событий разговор будет позже. А сейчас поговорим об одном событии. Мы ждём этого события.

Сейчас оно произойдёт. Каков будет результат? Знаете вы это наперёд?

– Я держу в руках камень. Сейчас разожму руки. Что будет?

– Смешной вопрос. Ответ очевиден заранее: камень упадёт на землю.

– А теперь я подброшу вверх монету. Какой стороной она упадёт на пол?

– Смешной вопрос. Ответ никому заранее неизвестен.

События, исход которых предсказать нельзя, мы называем случайными. Падение камня на землю – событие с достоверным результатом. Падение монеты на пол гербом вверх или вниз – событие со случайным исходом.

Предсказать случайное событие мы не можем (эта фраза есть тавтология – «верёвка есть вервие простое»), но можем знать заранее его вероятность.

– Какова вероятность, что эта монета упадёт гербом кверху?

– Дайте сюда монету. Так. Она, кажется, правильная, и если центр тяжести её не смещён, то я не вижу причин, по которой герб был бы лучше цифры. Значит, вероятность, про которую вы спрашиваете, равна одной второй. Соображения симметрии приводят меня к такому заключению.

– Да, а если монета неправильная?

– Тогда величина вероятности для *этой* монеты может быть установлена только на опыте. Надо произвести много бросков и установить эмпирическое (опытное) значение вероятности.

– Значит, к значению вероятности приходят двумя путями?

– Так точно. Либо симметрия события позволяет нам сделать предсказание вероятности его исхода, либо длительный опыт приводит нас к заключению о величине вероятности. Конечно, к соображениям симметрии надо относиться с осторожностью. Можно, скажем, поторопиться и сделать заключение, что появление у молодых родителей мальчика или девочки вполне эквивалентно выпадению герба или цифры у правильной монеты. Но, оказывается, дело обстоит не так, и вероятность появления на свет мальчика примерно на один процент выше. Длительное наблюдение позволяет установить такое значение вероятности и пользоваться им для предсказания грядущих событий. «Вот в этом и порочный круг, – может заявить любитель парадоксов. – Я определяю вероятность опытным путём, то есть анализом прошлого, и применяю её к будущему. А откуда я знаю, что со временем эта вероятность не претерпит изменения?»

Но так можно сказать о любом событии. Откуда я знаю, что завтра взойдёт солнце; откуда я знаю, что мой сосед по дому смертен; откуда я знаю, что на клёне не вырастут яблоки? Возражать против научного метода, исходя из подобных построений формальной логики, совершенно бессмысленно. Человек не может жить, не приняв без доказательства целый ряд посылок, в том числе и уверенность, что действия законов природы в будущем неизменны.

Ещё одна линия атаки на законы вероятности – это стирание грани между маловероятным и невозможным. Несомненно, рассуждая формально, можно сказать, что и самые дикие события осуществимы. Легко рассчитать вероятность того, что воздух из комнаты, где вы сейчас трудитесь, выйдет во мгновение ока через открытое окно и работа останется недоделанной. Можно рассчитать вероятность того, что кот Васька отстукает на машинке, тыча в клавиши куда попало лапой, «Сказку о царе Салтане». Нетрудно подсчитать вероятность появления одного лишь красного цвета в рулетке Монте-Карло в течение целого «рабочего дня» и красочно изобразить ужас и растерянность дирекции этого богоугодного заведения... Все это можно; и действительно, вероятности будут отличны от нуля. Но отнести эти события на таком формальном основании к возможным – значит играть словами.

События достаточно маловероятные не происходят. Этим законом мы можем и должны руководствоваться и в науке, и в житейской практике.

Какие вероятности *практически равны нулю*, можно всегда оценить. И эта оценка, разумеется, будет разной, смотря о чём идёт речь. Если о событии, касающемся одного конкретного человека, скажем меня или вас, – это одно, если о событии, случившемся с абстрактным землянином, – другое. И наконец, совсем иные оценки возникнут, когда от случайностей в мире людей мы перейдём к беспорядку в мире атомов.



Итак, прежде всего, как я оцениваю вероятности событий, которые касаются меня лично или вас, читатель? Точнее, какие вероятности событий мы с вами считаем, не раздумывая, нереалистическими и не принимаем во внимание?

На этот вопрос отвечают обычно так: событие, вероятность которого равна примерно одной миллионной считается практически несбыточным. Откуда мы взяли это число?

Количество дней, которое отпущено природой нам, грешным, равно примерно 25–30 тысячам. Следовательно, число простых жизненных фактов, которые мы повторно совершаем в своей жизни, измеряется миллионами. Значит, считаться с вероятностью одной миллионной – это вроде бы придавать значение каждому жесту, совершенному за время жизни.

Подойдем к этой же величине другим путём. Обычно человека, который не выходит из дому из-за боязни попасть в автомобильную катастрофу, считают не вполне нормальным. Чему же равна грустная вероятность погибнуть в какой-либо день своей жизни под колёсами автомобиля, скажем, итальянцу, в стране которого проживает 50 миллионов человек, а прощается с жизнью из-за успехов автомобилизма около 10 тысяч человек за год, то есть 25 человек в день? Оказывается, каждый итальянец, выходящий на улицу, имеет один шанс против 500 тысяч попасть сегодня под колеса. Мы видим, что итальянцы не считаются с вероятностями порядка одной миллионной.

Также поступают и жители других государств. Кстати, процент гибнущих в путевых катастрофах удивительно одинаков по всем странам Европы и Америки.

А вот ещё довод. В игорном доме в Монте-Карло ведётся запись всех выходящих номеров. За время существования этого богоугодного заведения ни разу не зафиксирована серия, состоящая более чем из 22 одноцветных номеров кряду. Появление такой одноцветной серии имеет вероятность порядка десятиллионных долей единицы. Значит, играя тысячу игр в день всю свою жизнь, вы можете не встретиться с таким поразительным случаем.

Такая же примерно величина вероятности крупнейшего выигрыша и у держателей лотерейных билетов, то есть около одной миллионной. Хотя крупный выигрыш при этом и возможен, разумный человек не строит своих планов в расчёте на него, как не страшится гибели в автомобильной катастрофе.

Мы вели разговор о вероятности как о руководстве к действию применительно к одному конкретному лицу, скажем, к моей личной судьбе. И другое дело, когда мы оцениваем вероятность происшествия применительно к абстрактным жителям.

Положим, я директор страховой компании. На вероятность своей гибели в автомобильной катастрофе я не обращаю внимания, но оценка вероятности такой смерти для некоего абстрактного гражданина моей страны меня волнует и лежит в основе моей деятельности, поскольку в стране проживает несколько миллионов человек.

Какую же вероятность должно иметь событие, чтобы мы откинули его как невозможное, когда речь идёт об абстрактном жителе Земли?

Эмиль Борель, французский математик, много сделавший для развития теории вероятностей, предлагает в качестве такой вероятности 10, то есть одну миллионную от одной

миллиардной. Это число представляется весьма разумным. А получается оно просто от уменьшения индивидуальной вероятности в число раз, равное населению земного шара.

Грубо оценив, что вероятность попасть под автомобиль, выиграть пять тысяч в спортлото или дожить до ста двадцати лет лежит где-то далеко за пределами одной миллионной, вы будете смело ходить по улицам, откажетесь, имея лотерейный билет, от осмотра продающейся дачи и не станете откладывать написание своих мемуаров до 2070 года. Таков вывод, который можно сделать, сталкиваясь с малыми вероятностями.

Но наш совет – не делать и обратного.

Не стоит всегда принимать во внимание и те вероятности, которые больше одной миллионной. Жизнь была бы очень утомительной.

По данным метеорологической статистики, солнечное утро сменяется дождливым днём с вероятностью, лежащей в пределах 0,01–0,001. С этим считаться, вообще говоря, надо. Но риск промокнуть не более драматичен, чем насморк, да дождь можно и переждать. С другой стороны, таскать с собой дождевой зонтик в хорошую погоду – значит неминуемо подвергнуться насмешкам. Поэтому захватить зонтик стоит лишь тогда, когда по небу гуляют тёмные и подозрительные облака. Вероятно, так поступает большинство читателей. Разумеется, более серьёзно стоит отнестись к вероятности дурной погоды при отправлении в далёкую морскую прогулку на лёгком паруснике.

Таким образом, оценка вероятности события – вещь, несомненно, полезная и нужная. Следует стараться определить её как можно более обстоятельно, скажем поинтересоваться прогнозом погоды, постучать по барометру и посмотреть, падает или повышается давление. А окончательное решение принимать, соразмеряя вероятность неприятности с ценой риска. Задуматься о вероятности риска, приучить себя прикидывать величину этой вероятности полезно для людей обеих крайностей – и тех, кто неоправданно рискует, и тех, кто неоправданно осторожничает.

Привычка оценивать вероятности может оказаться полезной для обнаружения противоречий, ошибок и, мягко выражаясь, уклонений от истины.

О художественной правде

Вы читаете рассказ.

«Мотор самолёта работал с перебоями, по крайней мере так казалось Николаю Петровичу. Шёл он на совсем небольшой высоте. Пролетали засыпанную снегом деревушку, видны были люди, копошившиеся около застрявшего в сугробе грузовика. Вдалеке был виден город, до которого лету оставалось каких-нибудь минут десять-пятнадцать.

В самолёте было чертовски холодно, ноги застыли. Николай Петрович вылез из своего кресла и стал двигаться в крошечном пространстве тамбура, отбивая ногами незамысловатую чечётку. Машина попала в воздушную яму, её тряхнуло раз, другой. Николай Петрович потерял равновесие, его бросило на дверь самолёта. Он приготовился встретить основательный удар, но удар оказался неожиданно мягким, и Николай Петрович почувствовал, что проваливается в пустоту и, прежде чем успел сообразить, что случилось, полетел вниз навстречу белой земле.

Ужас сжал сердце, мелькнуло: «Вот и все, дурацкая гибель». Но инстинкт самосохранения вступил в свои права. Наполовину подсознательно тело стремилось принять позу, наиболее безопасную при падении. «Ногами вперёд», – только успел он подумать и потерял сознание.

...У Веры Аркадьевны сегодня был свободный день. Сначала она собиралась заняться мелкими домашними делами. Начала с уборки комнаты. Случайно взгляд упал на лыжи, которые простояли без дела всю войну, да ещё три зимы, которые так незаметно пробежали после Дня Победы. Форточка была открыта, из окна пахло свежим холодным воздухом. «Нет, не годится так, – сказала себе Вера Аркадьевна, – я сознательно лишаю себя всех жизненных радостей. Это глупо и никому не нужно. Осталась жива, моя дорогая, и давай живи».

Через пятнадцать минут в синем лыжном костюме, с лыжами в руках Вера

Аркадьевна уже выходила из дому. Ещё десять минут – последний большой дом был пройден, город кончился, можно было встать на лыжи и отправиться куда глаза глядят. Перед Верой Аркадьевной простиралась гладкая белая скатерть снега, лыжня были засыпаны, и дорогу можно было выбирать любую. Ровная гладь показалась ей скучной, и она направилась в ту сторону, где виднелись несколько занесённых снегом стогов сена.

Низко летел самолёт. Вера Аркадьевна взглянула вверх. От самолёта отделилась фигура. «Какой опасный прыжок! – подумала она. – Но почему же не открывается парашют? Земля уж совсем близко. Ну хватит шутки шутить... Аааах!»

Падение свершилось совсем близко, в каких-нибудь 200–300 метрах от Веры Аркадьевны. Человек упал в снег и не был виден. Несколько взмахов палками, несколько резких скольжений, и Вера Аркадьевна была у стога. Лихорадочно работая руками, лыжей, палкой, она добралась через немногие минуты до человека, одетого в обычный костюм. Лишь смутно мелькнуло: «Значит, несчастный случай, никакой он не парашютист. Может быть, живой ещё». Она приложила ухо к сердцу и услышала, да, ошибки быть не могло: сердце едва-едва, но билось. Что же теперь делать? Одна она не дотащит этого крупного мужчину до города. Но судьба решительно пошла на помощь Николаю Петровичу (читателю уже ясно, что это был он). Она не остановилась на полдороге. Вдалеке виднелась группа лыжников. Напрягая голос, Вера Аркадьевна позвала на помощь...

В больнице она нервно ходила по коридору, ожидая, что скажут доктора.

«Почему я так нервничаю? Можно подумать, что речь идёт о близком мне человеке. Это, наверное, меня волнует его чудесное спасение.

Дверь палаты открылась, и вышел улыбающийся доктор. «Можете зайти, – сказал он. – Больной хочет видеть, кто его спас».

Вера Аркадьевна зашла в комнату. Спасённый смотрел на неё пристально. Сначала во взоре было одно лишь любопытство, оно сменилось недоверием, изумлением, восторгом.

– Бог мой! – прошептал Николай Петрович. – Вера, это сон!

Добежав остающиеся несколько шагов до его кровати, Вера Аркадьевна упала на колени и, смотря в такие близкие единственные любимые глаза, ответила:

– Милый мой, это не сон. Это ты, это я... Я знала, я чувствовала.

Нам остаётся рассказать читателю, присутствующему при счастливой развязке этой драмы войны, почему целых три года муж и жена не могли разыскать друг друга...»

Не буду дальше демонстрировать свои беллетристические таланты. (Демонстрация того, что писать плохие рассказы может каждый, не являлась моей целью.) Какую же мысль собираюсь я провести на примере только что изложенной, «захватывающей» истории?

А вот какую. Я думаю, что, если этот же самый отрывок перепишет хороший беллетрист, сущность дела не изменится. Ни самые что ни на есть художественные описания природы, ни попытки проникновения в психологию героев не смогли бы спасти пошлого сюжета. Почему, собственно, пошлого?

Да по той причине, что он неправдоподобен. Написанное непохоже на правду потому, что происшедшее невероятно. А невероятное есть невозможное – это ведь главный тезис нашей книги.

Каждое отдельное событие, изложенное в отрывке, само по себе имеет небольшую, но значимую вероятность. Самая маленькая из них – это выпсть из самолёта из-за несовершенства дверей. Пусть авиаинженеры фыркнут от негодования, но, наверное, один-два подобных случая за историю авиации были.

Остаться живым при свободном падении?.. Насколько мне не изменяет память, такие происшествия также фигурируют в истории воздухоплавания.

Встретиться случайно с пропавшей без вести любимой супругой? Что ж, и такое событие не исключено.



В отрывке же все эти крайне маловероятные события происходят одновременно. А вероятность сложного события, как мы знаем, равняется произведению составляющих его элементов. Значит, если вероятность каждого из событий одна миллионная (с этой вероятностью мы условились считаться), то вероятность нашего рассказа измеряется единицей, поделённой на единицу с восемнадцатью нулями. А это уж, простите, стопроцентная невозможность.

Разумный человек обычно делит события на правдоподобные и выдуманные без учёта данных теории. В критических рецензиях писатели иногда обвиняются в том, что они не считаются с художественной правдой. Мы же часто убеждаемся, что нарушения художественной правды – это просто использование крайне невероятного сюжета, невероятного в самом что ни на есть математическом смысле этого слова.

А вот рассказ Ю. Нагибина «Перекур». Что же происходит в рассказе? А примерно то же, что и в моём рассказе, только без падения героя из самолёта. Сорокапятилетний герой после двадцатилетнего перерыва понял, что по-настоящему он любил лишь один раз. Хотя любовь была всего лишь каких-то там двадцать лет назад, она вспыхнула вновь, и с пожаром в груди Климов едет в поезде на далёкий полустанок, где протекал в своё время его юношеский роман. Приехал, сошёл с поезда, зашагал через лес, а Маруся тут как тут. «Надо же было ей так точно рассчитать!» – пишет читатель Квашнин. Автор письма совершенно справедливо говорит: «Когда через двадцать лет герой выходит на полустанке и ровно в тот же час, минуту и секунду здесь же оказывается и героиня, читатель прищуривает глаза: хитро придумано – и перестаёт верить многому».

Примеров, подобных моему «сочинению» или вот этому рассказу Нагибина, нет числа. Авторы обвиняют в художественной неправде. А их стоит осуждать лишь за незнание теоремы умножения вероятностей. Они иногда оперируют несколькими маловероятными (но всё же возможными) событиями и достигают сногшибательного эффекта (а вместе с ним и отхода от художественной правды), заставляя эти события пересекаться.

Подобные приёмы можно оправдать лишь в том случае, когда автор и не пытается убедить нас, что так было, а просто придумывает такие события, что у читателя дух захватывает. Прочитав подобную книгу, мы иногда говорим: «Бог мой, какая чушь, но до чего здорово закручено!» Блестящий пример такого произведения – «Сердца трех» Джека Лондона. Одна завязка что стоит, когда автор приводит в одно время и в одно место двух братьев и сестру, которые ничего не знают о связывающих их родственных узах.

«Но ведь и в шедеврах литературы случайности играют важную роль», – скажет читатель. Несомненно. Но это случайности, которые могут произойти; события, вероятность которых вполне значима. Скажем, у Л. Толстого раненый Болконский оказывается в хирургической палате рядом с Курагиным. Толстому нужна была эта встреча, чтобы показать душевный перелом князя Андрея. Вероятно ли это событие? Без сомнения. Офицерских палат вблизи поля боя было немного, а может быть, даже и одна. Вероятность очутиться в одной палате двум офицерам, грубо говоря, равняется вероятности быть ранеными в один день. Если раненых

офицеров в этот день был один процент, то вероятность попасть в один процент для каждого из них равняется 0,01, а обоих сразу – 0,0001; вполне разумное число, с которым надо считаться.

Нисколько не сомневаюсь, что Л. Толстой этих вычислений не производил. Но настоящий художник чувствует правду без расчётов.

Я далёк от мысли писать инструкцию литераторам, как добиваться художественной правды в произведениях. Мне хотелось лишь подчеркнуть, что важным элементом жизненности произведений является приемлемое значение вероятности происходящих событий.

Пока использование невероятных пересечений приводит лишь к пустяковым результатам, вроде встречи потерявших друг друга влюблённых, то бог уж с ним: читатель развлечётся, а то, что такого в жизни не бывает, он и сам знает. Лишний рассказ или роман такого рода вреда не принесёт, хотя, конечно, и вкладом в литературу не будет.

Но в ряде случаев авторы используют пересечения сюжетных линий для того, чтобы подвести читателя к мысли, что произошедшее есть явление высшего порядка. Они прекрасно понимают, что если останутся в рамках законов природы, то сюжет их «не проходит». И, вместо того чтобы сказать «не проходит» – значит, нет такого, – намекают, что, мол, «по законам, конечно, “не проходит”, а вот у меня прошло, значит, не все подчиняется этим законам, есть что-то и сверх законов».

К счастью, откровенно религиозные или мистические произведения сейчас не в моде, и романов или рассказов, в которых чудесные явления преподносились бы на полном серьёзе, в последнее время тоже нет.

Мы говорили о нарушении художественной правды из-за непонимания теоремы об умножении вероятностей, из-за отнесения события, вероятность которого практически равна нулю, к событиям возможным. Но более распространённым является другое заблуждение, а именно поиск детерминистского истолкования явлений, носящих случайный характер.

Можно с большой уверенностью утверждать, что есть категория людей, у которых не совсем правильные представления о случайности.

Человеческому разуму свойственно возвышенное объяснение случайным явлениям. Иногда можно услышать: «Попал, бедняга, под автомобиль. Значит, так ему на роду было написано». Встречаются суждения по поводу несчастного случая более глубокомысленные: «Человек был плохой. Мать родную из дому выгнал. Как жил плохо, так и кончил плохо». Во всём этом имеется в виду, что в жизни есть какая-то сила, способная мстить человеку за дурные его поступки. Религиозному человеку мораль подобного типа весьма близка. Рационалистически же мыслящему ясно, что никакого закономерного воздаяния со стороны судьбы, бога, рока и пр. не существует. Однако романам и повестям, подводящим читателей к мысли: «Что-то в этом есть!» или: «От судьбы не уйдёшь!» – нет числа. За примерами ходить не приходится, но, чтобы не быть голословным, напомним про роман Макса Фриша «Ното Фабер», в котором герой был наказан за то, что во время фашизма он бросил свою жену-еврейку.

Судьба расправилась с героем основательно, хотя и неоригинально (было такое уже в древнегреческой литературе). Что же она сделала с этим трусливым немцем? А вот что. Ей угодно было, чтобы он спустя двадцать лет познакомился с молодой красивой девушкой и влюбился в эту девушку. Далее судьба разъяснила герою, что он согрешил со своей родной дочерью, которая родилась после того, как он сбежал от своей супруги. Герой был доведён до такой степени отчаяния, что покончил жизнь самоубийством.

В конце концов можно было рассказать сей драматический случай, изложив его под флагом «чего только в жизни не бывает». Правда, и в этом случае вряд ли роман можно было удостоить названия художественно правдивого, ибо случай уж очень редкий и нетипичный. Но всё же это бы ещё куда ни шло. Но Макс Фриш не для этого написал свой роман, а захотел встать в ряды авторов, заставляющих судьбу раздавать награды и шлёпки в пропорции с делами героев. Позиция не заслуживает уважения. Ничем она не отличается от направленности сочинений откровенно религиозных авторов.

С моей точки зрения, любой писатель, который вмешивает «перст судьбы» в жизнь своих героев, никогда не может написать стоящую вещь. Разумеется, всегда проще командовать героями, если перипетии романа определяются тем, кто с кем «случайно» встретился, кто в

какой момент догадался погибнуть или спастись... Легко навести героя на путь истинный, заставив его сломать ногу в то время, когда он направляется свершить прелюбодеяние или идёт на рынок загнать налево продукцию своего завода. Гораздо труднее обосновать сюжет романа психологией героев и социальным фоном, на котором развиваются события. А только на этом пути рождаются стоящие художественные произведения.

Все попытки даже самых великих писателей, таких, как Л. Толстой, создать литературное произведение, в котором случайности были бы возведены в ранг predeterminedностей судьбы, кончались крахом. Анна Каренина бросается под поезд вовсе не потому, что судьба наказывает её за измену супругу. Вся ткань романа показывает, что такой конец естествен для Анны, что он возможен лишь потому, что Анна принадлежит к обществу именно с такой, а не иной моралью. Читателю ясно – будь Анна не Анной или принадлежи она не к российскому дворянству, а к другой среде, конец романа был бы иным, и отмщение не состоялось бы.

И одна из задач нашей книги, темой которой является вероятность, как раз и состоит в том, чтобы развенчать всяческую разновидность фатализма, предостеречь читателя от поисков обоснования событий там, где это обоснование невозможно, где события являются чисто случайными.

В своей очень интересной статье, посвящённой мифотворчеству Томаса Манна, Станислав Лем показывает, что непонимание законов случая лежит в основе многих мифов. Лем приводит характерный пример. Жители одной африканской страны верят в то, что львы делятся на две категории: на львов, которые просто львы, и на львов, в которых переселились души умерших людей. Обыкновенные львы кушают людей, а львы с человеческой душой не питаются своими духовными родственниками.

Таким образом случайность изгоняется, и трапезы львов получают своё истолкование. К сожалению, миф не даёт нам возможности заранее узнать, с каким львом мы имеем дело; его категория выясняется лишь после его обеда.

Понимание законов вероятности ставит все на свои места и является важнейшим оружием против мифов, против религии, против фатализма.

С одной стороны, нельзя и не надо искать объяснения случайным событиям, вероятность которых хотя и мала, но вполне разумна. Скажем, очень соблазнительно приписать всеисильности материнской любви чудесное избавление от гибели её ребёнка. Ребёнок играл под балконом, мать отозвала его, а через пять секунд от карниза оторвался огромный кусок штукатурки и упал на то самое место, где играло дитя. Так и хочется сказать, что «Сердце матери – вещун», или «Материнская любовь – большая сила», или «Бог не допустил гибели невинного младенчика» и т.д. и т.п. Но происшедшее не нуждается в таких ремарках, ибо вероятность события вполне приемлема и иного объяснения не требует.

С другой – владение законами вероятности позволяет с уверенностью отнести определённый класс событий к невозможным. И если большое число случайных линий все же пересеклось, вероятность события ничтожно мала, а невозможное событие все же совершилось, то, значит, не «что-то в этом есть», а «что-то здесь не так!».

Математик спешит на свидание

- Ты не забыл, что завтра мы идём в консерваторию?
- Ну конечно, нет.
- Заедешь за мной?
- Дел невпроворот. Давай мне билет, я приду один.
- Вот так всегда. Опять подруги надо мной посмеются. Завела, скажут, кавалера, который с тобою и показаться не желает.
- Ну ладно, давай встретимся. Где?
- У входа в продуктовый, что поближе к Никитским воротам.
- Так это на другой стороне улицы.
- Конечно. Мне не хочется, чтобы видели, как я тебя жду.
- Неизвестно, кто кого будет ждать... Но знаешь, завтра мне и правда время рассчитать трудно. От 18.00 до 19.00 я буду на месте как штык, а точнее – не скажу.

– Выходит, я час тебя буду ждать?

– Я и говорю: встретимся на месте.

– Не хочу.

– Тогда предлагаю компромиссное решение. Оба приходим между 17.40 и 18.40. И ждём не более двадцати минут.

– А если ты придёшь в 18.00, а я в 18.30?

– Значит, я буду уже в зале.

– Да так мы никогда не встретимся на улице.

– Вероятность встречи довольно значительная. Хочешь, подсчитаю?

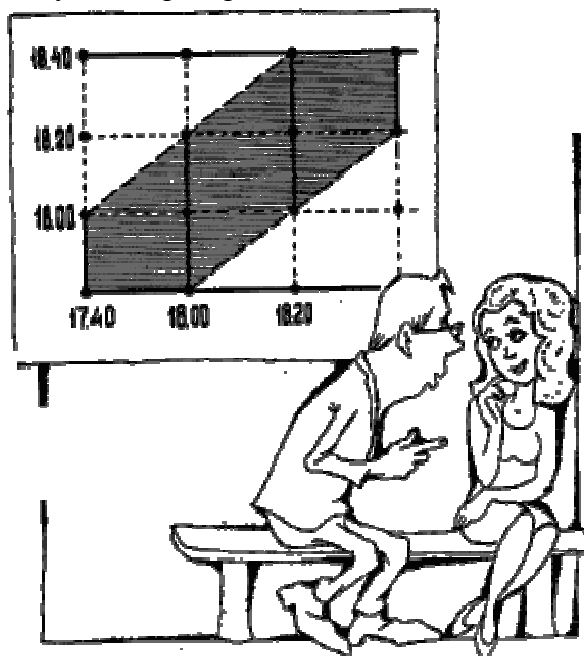
– Да не берись за карандаш, горе ты моё. И надо было влюбиться в математика...

Я, конечно, был бы рад продолжить рассказ о радостях и горестях влюблённых математика и девушки, далёкой от чисел и интегралов. Тут бездна интересных психологических моментов. Но увы! Тема книги вынуждает вернуться к «сухой» науке.

Как же действительно подсчитать вероятность встречи математика с его любимой? Мы уже выяснили, что вероятность – это отношение числа благоприятных случаев к общему числу событий. А здесь как быть? Ведь встреча может состояться или не состояться в любой момент часового интервала.

Благоприятным исходом рассматриваемой задачи является мгновение встречи. Но мгновений бесконечно много. Ведь часовой интервал я могу разбить на минуты, на секунды и даже на микросекунды. Значит, здесь бесконечное число исходов, а не два, как в опыте с монетой, и не шесть, как в опыте с кубиком (игральной костью). Как же определяются вероятности в задачах такого рода? Оказывается, геометрическим путём. А поскольку геометрия требует наглядности, нам придётся прибегнуть к нехитрому рисунку.

Отложим по горизонтали время прибытия девушки на свидание. На вертикальной прямой отметим минуты появления нашего героя. Если бы не было условия – ждать не более двадцати минут, то встреча могла бы произойти в любой точке квадрата, обнимающего часовые ожидания. При наличии же дополнительного условия моменты встречи попадут в заштрихованную область. Пожалуйста, проверяйте.



Девушка пришла без двадцати шесть. Встреча состоится, если кавалер явится до шести. Этому соответствует первый отрезок.

Девушка пришла в 18.00. Встреча состоится, если кавалер явится от 17.40 до 18.20. Такой встречи соответствует второй отрезок, построенный на рисунке.

Если девушка пришла в 18.20, то встреча состоится при условии, если математик явится к продуктовому магазину между 18.00 часами и крайним сроком – 18.40. Вот вам третий отрезок.

Теперь ещё одна точка, и заштрихованная область будет готова: девушка успела прибежать на свидание в 18.40. Она застанет своего возлюбленного, если он явился не раньше

18.20.

Что же дальше? Где же искомая вероятность? Нетрудно догадаться, что она будет равняться частному от деления площади заштрихованной области на площадь всего квадрата.

По сути дела, определение вероятности остаётся тем же – благоприятные варианты относятся ко всем возможным. Но если ранее мерой было число случаев, то теперь мерой является площадь на графике.

Два незаштрихованных треугольника образуют квадрат со стороной, соответствующей 40 минутам. Его площадь 40. Таким образом, искомую вероятность получим, поделив (3600-1600) на 3600. Итого 5/9.

Будем надеяться, что математик встретится со своей девушкой.

Применение теории вероятностей к событиям с непрерывным рядом исходов намного расширяет её возможности.

Одной из исторически первых задач такого рода была проблема, поставленная и решённая французским естествоиспытателем XVIII века Бюффеном.

На большом листе бумаги начерчен ряд параллельных линий. Наобум бросается игла, длина которой много меньше расстояния между линиями на бумаге. Игла может пересечь одну из линий, а может очутиться и между линиями. Надо оценить вероятность того, что пересечение произойдёт.

Предполагается, что центр иглы с равной вероятностью может попасть в любое место бумажного листа. Так же точно считается, что угол наклона иглы к начерченным линиям может принять какое угодно значение. Если игла попадёт на середину между линиями, то она не пересечёт линии, как бы она ни оказалась повёрнутой. Если же центр иглы очутился вблизи линии, то пересечение не произойдёт, если игла установится параллельно линии или около того, и напротив, игла пересечёт линию, если образует угол, близкий к прямому. Получается так: чем ближе к линии попадёт центр иглы, тем больше вероятность её пересечения.

Задача может быть решена без всякой математики. Попробуйте свои силы.

Треугольник Паскаля

Однажды я медленно шёл по Парижу, разглядывал витрины магазинов и читал вывески. Цветастая надпись над входом грязновато-серого здания настойчиво приглашала зайти и попытать счастья. Я удивился, что игорный дом работает среди бела дня, – это не соответствовало сведениям, почерпнутым мною из классической литературы – и... я зашёл. Взору представилась поразительная картина: десятки людей стояли лицом к стене, и перед каждым находился цветной ящик. Подойдя ближе, я увидел, что они либо нажимали кнопку, либо дёргали за ручку, будто заводя заглухший лодочный мотор.

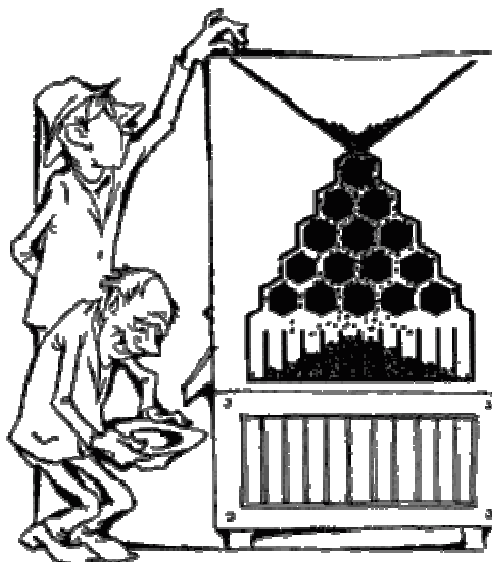
Через несколько минут я понял, в чём дело: люди играли с автоматами. Зрелище это неприятное, но великолепное поле для наблюдений психолога. Человек играет с судьбой. Один на один. Все побочные обстоятельства отсеяны. Нет ни соперничества, ни личной неприязни, ни необходимости скрывать свои чувства.

Есть автоматы, у которых вы можете выиграть только конфетку или сигареты, есть такие, которые играют на деньги, и, наконец, существует возможность наслаждаться игрой безгранично, вступив в единоборство с автоматом, выигрыш у которого даёт лишь право дальнейшей игры. Бессмысленно, не правда ли? Но вот так оно есть. Эти автоматы вы можете найти в любом баре, в любом кафе любого города Америки и Западной Европы.

В чём же состоит игра? В принципе она сводится к следующему. Выпускается на волю шарик, который под действием силы тяжести или щелчка пружины движется по доске, на которой установлены препятствия. От каждой преграды шарик может отскочить куда попало. Получив несколько десятков таких случайных щелчков, шарик добирается до дна ящика и успокаивается в каком-то положении.

В зависимости от формы преград и от того, как они установлены, разные места дна ящика будут достижимы в различной степени. Определив из многочисленных опытов значения вероятностей окончания путешествия шарика в том или ином конечном пункте, нетрудно построить правила игры, которые позволят автомату уверенно обыгрывать своего живого

партнёра.



В самой простой своей форме игровой автомат похож на так называемую доску Гальтона, которую используют в лекционных демонстрациях.

Прошу взглянуть на рисунок. В воронку насыпаются шарики. По очереди они мчатся вниз, отскакивая то вправо то влево от препятствий и наконец достигают какой-то ячейки. В качестве препятствий можно брать шестиугольные бляшки или вбить в доску гвоздики. Для доски Гальтона разработана детальная теория. Мы попытаемся обойтись без неё и предположить, что от каждого гвоздика шарик с равной вероятностью может отскочить влево или вправо. Отклонение вправо и влево будет происходить совершенно по тем же законам, что и появление в рулетке красного и чёрного. На одну комбинацию лллллл... или пппппп... приходится множество комбинаций, состоящих из примерно равного числа отклонений влево и вправо. Поэтому чаще всего шарик будет попадать в среднюю пробирку и реже всего в самые крайние.

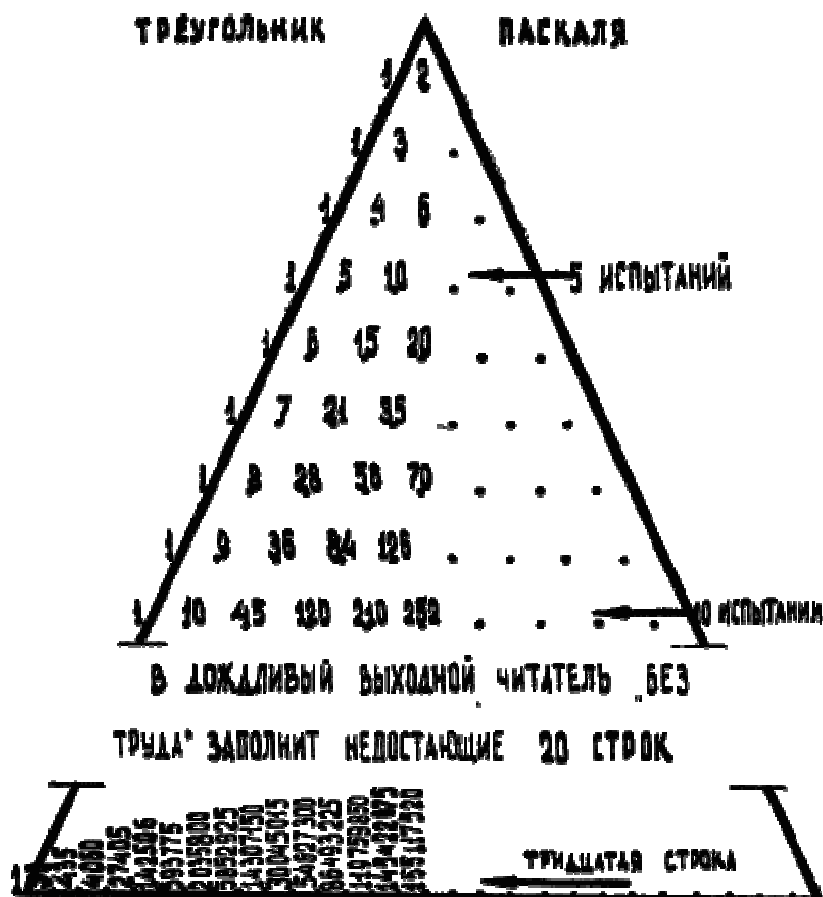
Можно провести большое число опытов, и каждый раз шарики будут распределяться примерно одинаково. Если усреднить результаты, то получим гладкую симметричную колоколообразную кривую, которая называется кривой Гаусса или кривой нормального распределения. Не кажется ли вам, читатель, странным, что какой-то кривой мы уделяем так много внимания. На небольшом клочке бумаги можно начертить сколько угодно самых разнообразных кривых, и никому не придёт в голову присваивать им имена или названия. А наша этой чести удостоивается. Почему? Не имеет ли она какой-то математический признак, раз она заслужила специальное название.

Несомненно. Сейчас мы поясним, в чём состоит её математическая общность, только разрешите от реального опыта перейти к абстрактной схеме. И пожалуйста, имейте в виду, что так поступают всегда физики-теоретики, поэтому абстрагированием мы не нарушаем канон науки.

Упрощение, которое мы введём, состоит в следующем: будем считать, что каждый столбик отличается от соседнего на единицу отклонений. Положим для конкретности, что доска состоит из 10 рядов препятствий. Будем считать, что шарик обязательно встречается с одним из препятствий каждого ряда и с равной вероятностью отскакивает вправо или влево, при этом отклонения происходят всегда на один интервал.

Тогда шарик, который попал в среднюю пробирку, отклонился 5 раз влево, 5 раз вправо. Следующая ячейка заполнена шариками, путь которых состоял из шести отклонений в одну сторону и четырех в другую. Далее идут пробирки, заполняющиеся шариками в соответствии с вариантами 7–3, 8–2, 9–1 и 10–0.

Вариант 5–5 осуществляется максимальным числом способов, 6–4 – уже несколько меньшим, 7–3 – ещё меньшим... 10–0 – самая редкая комбинация. Отсюда и характерный вид кривой, проходящей через вершины столбиков.



Высоты столбиков пропорциональны числу комбинаций, с помощью которых осуществляется тот или иной вариант. Об этом мы уже говорили (обратитесь, пожалуйста, к стр. 17) [ссылка], рассматривая все возможные варианты серии из 5 игр в рулетку.

Надо было бы для ясности выписать все комбинации для серии из 10 опытов. Пожалуй, мы пойдём на большее. На этой странице изображён так называемый треугольник Паскаля, с помощью которого можно определять числа комбинаций для любых рядов испытаний. Для того чтобы продолжить этот треугольник хоть до бесконечности, нужно лишь время и умение складывать. Даже таблицу умножения знать не обязательно, поскольку каждое число треугольника равно сумме двух чисел, а именно соседних левого и правого верхней строки.

В результате этих наипростейших арифметических операций мы получаем числа комбинаций левого и правого, красного и чёрного и вообще любых статистических «да» и «нет».

Как же пользоваться треугольником? Любая из его строк даёт числа комбинаций для определённого числа элементов. На рисунке выделена пятая строка. Она отвечает на все вопросы, касающиеся рядов из пяти испытаний. Числам 1, 5, 10, 10, 5, 1 (мы помним их) пропорциональны вероятности появления красного цвета в пяти последовательных поворотах колеса рулетки 0 раз, 1 раз, 2 раза, 3 раза, 4 раза и 5 раз. Значение вероятностей мы получим, поделив каждое число треугольника Паскаля на общее число испытаний, которое равно сумме чисел строки.

Возвращаясь к доске Гальтона мы можем сказать, что при десяти случайных встречах с препятствиями число шариков, которые попадут в крайние пробирки (все встречи привели к одним лишь левым или к одним лишь правым отклонениям), будет в среднем в 252 раза меньше числа шариков, попавших в средний приёмник.

С гауссовой кривой приходится сталкиваться во всех областях знания. Универсальность её объясняется очень просто: на неё укладываются вероятности отклонений от среднего во всех случаях, если только отклонения «вправо» и «влево» равновероятны. Если же отклонения от среднего невелики, как это бывает очень часто, то подобное требование осуществляется всегда. Сейчас мы продолжим знакомство с этой замечательной кривой, лежащей в основе любой статистики.

Случайные отклонения

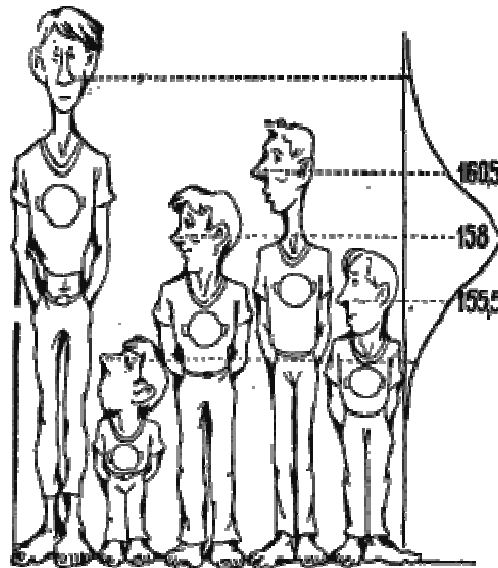
Вкусы у людей, как известно, чрезвычайно разные. Одни сникают при взгляде на длинные колонки цифр, на графики с ниспадающими и вздымающимися вверх ломаными и плавными кривыми, на масштабные столбики, высота которых описывает все, что угодно, – урожаи, рост, потребление водки или посещаемость театров. У других же, и их немало, глаза загораются при взгляде на это богатство информации. Жадно рыщут они взглядом вдоль цифровых столбцов, просматривают графики и приходят к интересным и важным выводам в области экономики страны, понимания человеческого характера или ещё в чем-нибудь. Люди эти – статистики, – нужное и важное племя работников, значительный отряд министерств и ведомств.

Задачи статистики (так называются не только люди, но и область деятельности) разнообразны и обширны. На десятках тысяч библиографических карточек приведены данные о промышленном производстве, о народном образовании, о смертности населения, о функционировании поликлиник и больниц, об автомобильных катастрофах, о посещаемости кинофильмов и бог весть ещё о чём. Статистиков интересуют самые разные вещи: динамика роста тех или иных показателей, сопоставление данных по значению какого-либо параметра в разные времена года, или в разные часы дня, или среди мужчин и женщин, или среди лиц разного возраста.

Особое место занимают в статистике измерения *средних значений* и *отклонений от средних*. Весьма распространены измерения роста и веса. Вес цыплят, которыми торгует птицеферма, интересен потому, что характеризует её работу; рост людей интересен для швейной промышленности, выпускающей одежду от 46-го до 56-го размеров, и т.д. Так как все это известно читателю из газет и радиопередач, приводящих всевозможные числа, то перейдём к нашей теме, а именно, к проявлению во всей этой массе чисел законов случая.

Один из скучных рисунков, фигурирующих в сочинениях по статистике, нам придётся привести. Мы с художником долго ломали голову над тем, как сделать это масштабное построение более приемлемым в книге серии «Эврика». Результат творчества изображён на странице 71 [ссылка]. Рисунок показывает диаграмму и кривую, которая носит название кривой статистического распределения.

Чтобы рисунок лучше рассмотреть, поверните, пожалуйста, книжку на 90 градусов. Правда, новобранцы очутились в лежачем положении. Но, ей-богу, ничего более толкового не придумаешь. Теперь (в повернутом положении) высота кривой показывает число будущих солдат определённого роста. Величины роста нанесены на уровне носа. Выбран конкретный пример измерения роста 1375 ребят. Столбики – это результат измерения, а плавная линия – наиболее близкая к опыту – гауссова кривая.



Статистикам известна следующая замечательная вещь: чем больше привлечённый для построения графика материал (в данном случае чем больше ребят), тем плавнее и ближе к

теории кривая, соединяющая вершины масштабных столбиков.

Самым замечательным обстоятельством является то, что кривая, получающаяся при измерении любых объектов, имеет форму той же самой кривой Гаусса, на которую, как мы видели, ложатся числа комбинаций «красного» и «чёрного»!

Теперь рассмотрим вид кривой нормального распределения в деталях. Нормальная кривая примерно похожа на колокол; она спадает одинаково в обе стороны сначала медленно, а потом быстро. Чтобы построить её, математику достаточно знать три параметра: высоту её максимума, среднее значение изучаемой величины (то есть то место на горизонтальной оси, которое соответствует среднему значению) и ширину кривой. Вершине колокола как раз и соответствует то, что мы называем средней величиной. (Как получить среднее, известно даже тем, кто враждует с арифметикой: надо сложить все измерения и разделить на число измерений.) Откуда же видно, что максимум кривой Гаусса придётся на среднюю величину? Доказательство лёгкое: нужно проинтегрировать гауссову кривую. Но так как это занятие здесь неуместно, то просим поверить на слово, что теорема доказывается совсем просто.

Итак, остаётся пояснить, что такое ширина нормальной кривой. Условно меряют ширину на полувысоте колокола. Очевидно, что ширина показывает, насколько часто или редко мы встречаемся с отклонениями от среднего. Чем уже колокол, тем реже значительные отклонения от среднего.

Нормальная кривая распределения роста, которая была нарисована на предыдущей странице, описывается такими словами: «Высота кривой 200 человек», то есть двести человек имеют средний рост (первый параметр кривой).

Заметим тут же, что иметь строго средний рост невозможно, можно иметь средний рост с точностью 1, 2, 5 сантиметров и т.д. На нашем графике каждая точка представляет группу ребят, рост которых лежит в пределах 2,5 сантиметра. Средняя высота новобранцев, как мы видим по диаграмме, равна 158 сантиметрам – это второй параметр.

Третьим параметром является ширина колокола, равная в этом случае 15 сантиметрам. Знание ширины кривой позволяет сразу же оценить, с какими отклонениями от среднего мы можем встретиться.

Нормальная кривая универсальна и относится к любым событиям, поэтому, смотря все на тот же рисунок, мы можем делать общие заключения, справедливые для любых нормальных кривых. Скажем, отклонения больше трех полуширин практически не встречаются. Так обстоит дело всегда, вне зависимости от того, о чём идёт речь.

Для характеристики вероятности отклонения от среднего значения в технике и статистике существуют ещё среднее отклонение по абсолютной величине, среднее квадратичное отклонение, вероятное отклонение, мера точности. Все эти величины связаны между собой и с полушириной гауссовой кривой числовыми множителями, близкими к единице.

Вообще говоря, каких-либо доводов в пользу того, чтобы те или иные статистические сведения ложились на гауссову кривую, нет. Правда, кое-что мы чуть позже увидим. Сейчас же надо подчеркнуть, что точные представления о нормальном распределении случайных событий показывает кривая числа комбинаций «красного» и «чёрного». И к идеалу, с точки зрения математической, эта кривая приближается тем лучше, чем большее число испытаний проводится. Если число событий, которые мы обрабатываем статистически, исчисляется десятками, то ординаты кривой будут отличаться от идеальных на десятые доли процента; при сотнях испытаний разница уменьшится до сотых долей процента. Во всяком случае, на рисунке размером в страницу мы не отличим кривую распределения, построенную для тридцати событий, от гауссовой кривой идеальной.

Без преувеличения можно сказать, что закон Гаусса является важнейшим оружием в технике, в физике, в медицине – в любой науке.

Знание среднего значения случайной величины и ширины кривой нормального распределения позволяет уверенно судить о возможном и невозможном.

В технике беспорядочные колебания случайной величины около её среднего значения называют шумом. Такой шум вы слышите, когда снимаете телефонную трубку. Шумом называют обыкновенный белый свет. Шумит молния, излучая весь спектр электромагнитных колебаний. Если шум изображать на телевизионном экране (осциллографе), то будет видна

беспорядочная зигзагообразная кривая.

Шум нетрудно ограничить двумя горизонтальными линиями; так сказать, вписать его между нулём и некоторым максимумом. Что можно сказать об этом максимуме, о верхнем пределе шума?

В зависимости от природы, источника, от излучателя, шум может быть как угодно большим. По-одному шумит громкоговоритель в квартире, по-другому – на маленьком полустанке и совсем иной шум громкоговорителей, работающих на улицах Москвы во время парада на Красной площади. Разница основательная. Но если построить графики этих трех шумов, то одну общую черту, продиктованную законом Гаусса, мы обнаружили бы без труда: верхний предел шума превышает средний шум примерно в четыре раза. То есть колокол гауссовой кривой весьма крутой и обрывается исключительно резко, несмотря на то, что с точки зрения формальной математики крылья кривой продолжают в бесконечность. Из этого графика мы бы увидели, какое маловероятное событие становится практически невозможным. Ещё одно замечание: всякое заметное превышение шума над граничной горизонталью, дающее более чем пятикратное отклонение от среднего шума, называется уже не шумом, а сигналом.

Кривая гауссова распределения показывает, на что надо, а на что не надо обращать внимания, когда речь идёт о случайной величине. Физические измерения, как и математический анализ, показывают, что отклонения, не превышающие четырехкратного значения среднего отклонения, являются нормой и поэтому не заслуживают ни особого внимания, ни объяснения. Скажем, известно, что физики могут измерять расстояния между атомами с точностью до 0,01 ангстрема. Некто Иванов публично заявил, что его измерения на 0,03 ангстрема отличаются от ранее полученных результатов, и пытается доказать, что его результат лучше имеющегося. Не стоило ему так поступать: не спорить ему надо, а сообщить учёному миру, что он лишь подтвердил ранее достигнутый физиками результат. Вот если бы его измерения отличались на 0,06 ангстрема, тогда другое дело; тогда можно было бы говорить, что какая-то из двух величин неверна и некто Петров был бы прав с точки зрения научной этики, приступив к измерению того же межатомного расстояния третий раз.

Зная гауссовы кривые для разных случайных событий, статистики отвергнут газетное сообщение о новорождённом весе в 6 килограммов, о том, что в городе Киеве 12-го числа рождались только мальчики, а 13-го только девочки, о том, что в Москве в мае месяце не было ни одного дня с температурой ниже 30 градусов, о том, что число автомобильных катастроф в декабре было в десять раз больше, чем в январе, что во вторник по всему городу не было продано ни одного куска мыла, а в среду никто не приобрёл в аптеке таблеток пирамидона и т.д.

И право же, такой скептицизм, базирующийся на хорошей статистике и знании закона вероятности, обоснован не хуже, чем расчёты траектории космического корабля. Словом, невероятно – не факт.

Если вероятности невелики...

Во время войны довольно часто стреляли из винтовок по вражеским самолётам. Может показаться, что это безнадёжное дело; о прицельной стрельбе здесь и речи быть не может, поскольку лишь пули, пробивающие бензобак или поражающие лётчика, приносят результат. Было установлено, что вероятность удачного выстрела равнялась 0,001. Действительно мало. Но если стреляет одновременно много бойцов, то картина меняется.

Примеров, в которых нас интересует вероятность многократно осуществлённого события, обладающего малой вероятностью, множество. Например, с задачей попадания в самолёт из винтовки полностью совпадает задача о выигрыше в лотерею по нескольким билетам.

Каждая серия «выстрелов» может быть как неудачной, так и закончиться одной удачей, а то и несколькими. Соответствующее распределение вероятностей было найдено французским математиком Пуассоном.

В любом математическом справочнике вы найдёте формулу Пуассона, а также таблицы, позволяющие найти интересующую вас вероятность без расчёта.

Средняя частота – это результат, идеально совпавший с предсказанием теории

вероятностей. Если вероятность выигрыша равняется 0,01, то из ста билетов выиграет 1, а из тысячи – 10. Единица и десять это и есть средние частоты выигрыша для серий в сто и тысячу билетов. Конечно, средняя частота может быть и дробным числом. Так, для серий в десять билетов при том же значении вероятности средняя частота выигрыша равняется 0,1. Это значит, что в среднем одна из десяти серий по десяти билетов будет содержать один выигрыш.



В таблицах Пуассона приводятся цифровые данные для всевозможных значений средних частот. Чтобы было ясно, в каком виде нам сообщаются эти сведения и для общей ориентировки приведём несколько чисел характеризующих распределение вероятности при средней частоте, равной единице. Вот эти числа.

Ста выстрелами при вероятности попадания в 0,01 или тысячью выстрелами при вероятности попадания в 0,001, или миллионом при вероятности в 0,000001, мы поразим цель один раз в 37 процентах случая, 2 раза в 18 процентах, 3 раза в 6 процентах... 8 раз лишь в 0,001 процента. А промахнёмся сколько раз? Промахов точно столько же, сколько одноразовых попаданий, то есть 37 процентов.

Приведённые проценты, как и любые числа вероятностей, работают точно лишь для очень большого числа серий. Если миллион людей приобрёл лотерейные билеты, выигрывающие с вероятностью в 0,01, то 37 процентов из них не выиграют ни разу, а 37 процентов других лиц обязательно выиграют по одному билету и т.д. Если же мы заинтересуемся выигрышами только 100 человек, то должны считаться с вероятными отклонениями от среднего. В «среднем» 37 из них не выиграют ни разу. Отклонения здесь от «среднего» не превысят $6\sqrt{37}$. А с такими отклонениями, как мы уже знаем, следует считаться и помнить, что число неудачников будет находиться между 31 и 43. Конечно, не исключены и бо́льшие отклонения в обе стороны, но их вероятность совсем уж невелика.

Узнав из условий розыгрыша, что в среднем на сотню лотерейных билетов один выигрывает, владелец билетов будет считать себя несчастливим, если на его 100 билетов выигрыш не упадёт ни разу. Если же ему не повезёт несколько раз, то он, возможно, заподозрит устроителей лотереи в несправедливости. Однако сделаем простой расчёт. Если вероятность одного «промаха» равна 0,37 (37%), то вероятность двух «непопаданий» равна квадрату этого числа (0,14), а трех – кубу (0,05). А это не такие уж малые доли, чтобы делать столь решительные выводы.

Теория рекламы

Мой знакомый – американский математик мистер В., ранее занимавшийся достаточно успешно приложениями теории вероятностей к вопросам структуры жидкостей, переменял область своей деятельности.

- Я занимаюсь теорией рекламы, – сообщил он мне при последней нашей встрече.
- И это интересно?

– Бесспорно. Здесь много занятных тонкостей.

– А, собственно говоря, что же является конечной целью теории?

– Хотя бы получение ответа на вопрос, который интересует любого нашего промышленника: сколько денег имеет смысл потратить на рекламу?

– Но каковы же математические методы, которые вы используете?

– Да все те же, с которыми я имел дело до сих пор. Теория рекламы, теория популярности актёра, теория известности писателя, прогноз бестселлеров литературы – все это классический предмет теории вероятностей. Не я один, а много моих коллег заняты этим приложением теории вероятностей к проблемам нашей капиталистической действительности.

– Может быть, вы расскажете мне о наиболее интересных теоретических находках в этой области?

– С удовольствием. Надеюсь, мне не надо доказывать вам, что, прежде чем добиться того, чтобы вещь, или событие, или некая персона понравились, надо, чтобы они стали известными потребителю?

– Без сомнения.

– Поэтому не будем пока касаться проблемы «нравится», а остановимся на вероятности получения неким гражданином сведений о существовании сигарет Честерфилд, лезвий для бритвы фирмы Вильсон, романа Агаты Кристи «Убийство по азбуке» или киноактрисы Бетти Симпсон. Мы оставим в стороне систематические знания, приобретаемые в результате обучения в школе или университете, и будем интересоваться лишь теми сведениями, которые люди приобретают «на ходу», не преследуя образовательных целей. На каждого из нас через разные каналы: радио, газеты, телевидение, болтовню с друзьями – обрушивается мощный поток информации, получаемой «по случаю». Фамилии актёров, названия книжных новинок, новых сортов сигарет, лезвий для бритвы и многое другое мы узнаем большей частью случайно. В зависимости от размаха рекламы, от интереса, который общество проявляет к тому или иному «модному» предмету, имеется некоторая определённая вероятность о нём услышать. Эта вероятность более или менее одинакова для однородной группы населения – скажем, для жителей города, имеющих телевизоры и радиоприёмники и выписывающих две-три наиболее распространённые газеты.

Разумеется, равная вероятность получить информацию вовсе не означает, что по истечении какого-либо срока все люди окажутся одинаково сведущими. Случайное получение информации очень похоже на лотерейный выигрыш. Действительно, среди тысячи обладателей по десяти лотерейных билетов окажутся лица, которые не выиграют ни разу, которые выиграют один раз, найдутся обладатели двух счастливых билетов, будут и такие везучие игроки, у которых выигрыши выпадут на три, четыре и более билетов. Так что...

– Вы хотите сказать, что вероятность «столкновения» с рекламой, вернее, не с рекламой, а с упоминанием о предмете или лице, известность которого обсуждается, подчиняется распределению Пуассона?

– Совершенно верно. Если, скажем, вероятность натолкнуться на соответствующую информацию в течение одного дня равна одной сотой, то через сто дней 37 процентов населения, так сказать, омываемого этим потоком информации, так и не столкнётся с этой рекламой, другие 37 процентов встретятся с упоминанием о рекламируемом предмете 1 раз, 18 процентов – два раза, 6 процентов – три раза и т.д. Эти числа, как вы, конечно, помните, даёт закон Пуассона.

– Значит, при вероятности узнавания, равной одной сотой в день, через сто дней обеспечивается известность среди 63 процентов населения?

– Не совсем так. У людей, к сожалению торговцев, память коротка, да и жизнь суматошная. С одного взгляда на рекламу мало кто запоминает рекламируемую вещь.

– Так что у вероятности узнавания имеется ещё и второй множитель?

– Вот именно!

– А какова величина этой поправки на невнимательность?

– Разумеется, она различна в зависимости от того, о чём идёт речь. Я могу вам сообщить, к примеру, данные, полученные из анализа анкет, распространявшихся среди телезрителей. Из этих данных была вычислена вероятность запоминания с одной встречи. Оказалось, что она

колеблется между 0,01 и 0,1.

– Существенная поправка к распределению Пуассона!..

– Конечно. Судите сами: если подсчитать процент населения, который получит информацию через сто дней, то из 37 процентов «столкнувшихся» с рекламой один раз, информированными окажутся лишь 3,7 процента (если мы примем вероятность запоминания с одной встречи равной 0,1). Из 18 процентов «сталкивавшихся» с информацией два раза доля лиц, усвоивших рекламу, будет больше. Действительно, вероятность не запомнить с одного раза равна 0,9, а не запомнить после двух встреч равна квадрату этой величины, то есть 0,81. Запомнивших будет 0,19. Таким образом, процент информированного населения в нашем примере будет подсчитываться так:

$37 \cdot 0,1 + 18 \cdot 0,19 + 6 \cdot 0,27 + \dots$

– Да, до 63 процентов далеко!..

– Вот этот коэффициент невнимательности и приводит к необходимости назойливой, торчащей на всех углах рекламы. Чтобы каждый потребитель узнал о товаре, он должен сталкиваться с соответствующей информацией очень часто.

– Мы всё время говорим с вами об известности. Но ведь знать – это ещё не значит предпочитать!

– Так-то оно так, – улыбнулся мой собеседник. – Но роль рекламы оказывается решающей. Недостаточная реклама означает малую известность, а малая известность влечёт двойной проигрыш в конкурсе на высшую оценку. Первая причина ясна. Те, кто не знает, естественно, не могут подать голос за то, что им неизвестно. Вторая причина состоит вот в чём. Менее популярные вещи, книги, актёры, писатели... известны наиболее образованным людям. Но поскольку они образованны, они делают свой выбор среди значительно большего числа конкурентов. По этой причине вероятность высшей оценки предмета или объекта, который выбирается знатоками, становится меньше вероятности высшей оценки, которую выносит менее осведомлённый судья.

– Я начинаю теперь понимать, почему в вашей стране тратят столько денег на рекламу!

– Ещё бы!.. Вот вам простая числовая иллюстрация. Имеется 10 лучших ресторанов в городе. Из них два, скажем, «Империал» и «Континенталь», разрекламированы много более других. Гурманы знают о существовании всех десяти ресторанов, которые примерно одинаково хороши. Случайные же посетители ресторанов, как правило ужинающие у себя дома, знают лишь о существовании «Империала» и «Континентала». Положим, что тысяча человек собирается сегодня вечером поужинать вне дома. Из них 500 знатоков и 500 профанов. На первый взгляд может показаться, что менее разрекламированные рестораны не будут в проигрыше. Однако, будут – и в очень большом! 500 профанов с вероятностью 1/2 выберут один из двух наиболее известных ресторанов. Из них 250 очутится в «Империале» и 250 в «Континентале». А 500 знатоков с вероятностью 1/10 выберут один из десяти ресторанов. Таким образом, в «Империале» и «Континентале» окажется по 300 человек, а в остальных 8 ресторанах – по 50. Как видите, наименее компетентные потребители играют решающую роль.

– Да, воистину реклама – двигатель торговли!

– Бог с ней, с торговлей. Меня огорчает во всём этом деле столь лёгкая возможность искажения истинной цены культуры. Как несправедливо получается, что в популярности человека искусства, произведения искусства самую последнюю роль играет мнение знатоков!

– Не забывайте, что такой вывод верен только в том случае, если реклама находится в нечестных руках. Если же знатоки будут влиять на то, чтобы объём рекламы был пропорционален заслугам, то всё будет на своём месте!

– Это верно, – вздохнул мой собеседник, – но как этого у нас добиться?

Случайности, складывающиеся в законы

Кривая статистического распределения, построенная на основе большого числа измерений, испытаний или опросов, передаёт сущность событий и является их законом.

Пожалуй, первый вопрос, который заинтересует исследователя, – это стабильность кривой распределения. Действительно, если я знаю, что явление меняется медленно, то могу

использовать сегодняшнюю кривую для предсказаний завтрашних событий.

В то же время сам факт систематического смещения кривых распределения весьма многозначителен и свидетельствует о каких-то важных переменах. Допустим, смещается кривая распределения солнечных дней, построенная по данным ряда десятилетий, – значит, происходят изменения в геофизических факторах, определяющих погоду; в изменениях кривой распределения среднего возраста жизни заложена информация о борьбе с болезнями, и т.д.

Напротив, если обнаруживается исключительное постоянство кривой распределения, например рождения мальчиков и девочек, то это значит, что отношение младенцев обоего пола есть генетическое свойство, глубоко запрятанное в живой клетке и не поддающееся влиянию внешней среды.

Покажем, какие богатые выводы можно сделать из постоянства статистических данных.

Во Франции в течение долгого времени число ежегодно рождавшихся мальчиков относилось к числу девочек как 22:21. Иными словами, нормальная кривая для этого отношения, построенная по месяцам за много лет, имеет максимум при 22:21. Просматривая записи рождений мальчиков и девочек в Париже (собранные за 39 лет), Лаплас нашёл, что максимум кривой лежит при отношении 26:25. ($26:25 < 22:21$). Используя теорию нормальной кривой, можно убедиться, что это отклонение – различие в дробях – не может быть случайным. А если так, то оно должно иметь реальное объяснение. «Когда я стал размышлять об этом, – пишет Лаплас, – то мне показалось, что замеченная разница зависит от того, что родители из деревни и провинции оставляют при себе мальчиков (мужчина в хозяйстве – более ценная рабочая сила), а в приют для подкидышей отправляют девочек». Он действительно изучил списки приютов и убедился в справедливости своего предположения.

Встречается множество случаев, когда нет преимуществ у отклонений по кривой «вправо» или «влево». А если эти отклонения являются суммарным эффектом большого числа случайностей, то распределение будет гауссовым. (Математики могут доказать справедливость этого утверждения достаточно строго.)

Если же мы ждали симметричной кривой, а получили «хвост» в одну сторону и даже в стороне от колокола наметился ещё один холмик поменьше, то над этим фактом стоит задуматься: вероятно, исследованию подвергалась неоднородная группа явлений. Как это может быть? Например, речь идёт об измерениях роста жителей какого-нибудь города, в котором живут представители двух рас. Пусть девяносто процентов жителей относится к высокорослой расе, а десять процентов – к низкорослой. В этом случае результаты измерений роста не создадут симметричную гауссову кривую: сбоку от среднего роста может наметиться добавочный горб кривой, во всяком случае, кривая распределения будет иметь разные хвосты влево и вправо.

Выводы статистики приобретают ценность тем большую, чем обширнее материал, на основе которого построена гауссова или иная статистическая кривая.

Имея перед глазами кривую статистического распределения или статистические таблицы, мы можем делать предсказания двух типов: уверенные – детерминистские, если речь идёт о средних значениях, и вероятностные – если речь идёт об индивидуальном событии. Правда, обычно вероятностные предсказания не распространяются на конкретное лицо. Скажем, если известно, что средний процент брака в цехе равен 1,5 процента, то есть смысл говорить о вероятности, что 15 деталей из тысячи, изготовленных слесарем Ивановым, попадут в ящик для стружки лишь в том случае, если об Иванове ничего не известно.

На земле живёт очень много людей, они выполняют похожие дела, совершают похожие поступки. Поэтому почти все события, в том числе и такие, которые кажутся редкими и исключительными, свершаются достаточно часто и являются предметом статистики.

Обратимся к таким печальным событиям, как автомобильные катастрофы. Их, оказывается, так много, что можно говорить не только о средних числах катастроф вообще, но и «рассортировать» их по типам причин, из-за которых они произошли. Исследователям известно, например, сколько аварий происходит по вине велосипедистов; есть данные для сравнения числа катастроф, происшедших по вине велосипедистов, имеющих фонари и не имеющих; в сводках автомобильных катастроф, публикуемых ООН, можно увидеть, как они распределяются по возрастным категориям водителей. Из этих сводок видно, что наиболее

безопасными для окружающих являются водители среднего возраста; наиболее опасными оказываются мальчишки; небольшое увеличение числа несчастных случаев наблюдается у водителей, перешагнувших за семьдесят. Внутри каждой категории возрастов введены графы для разной погоды, разного времени дня и ночи и т.д. и т.п. И приходится только поражаться стабильности этих данных.

Отнесённые к числу, характеризующему интенсивность движения в стране (что-то вроде числа автомобилей на число километров дорог), данные по катастрофам оказываются совершенно универсальными.

Казалось бы, что может быть случайнее столкновения двух машин. Здесь и усталость водителей, и состояние дороги, и то, что автоинспектора называют «дорожная обстановка», тут и случайно подвернувшийся прохожий, и каток, оставленный на обочине дорожными рабочими, тут и состояние тормозов автомобилей, и ещё бесчисленное множество маленьких и больших факторов. Да, действительно, это типично случайное событие, но так как причин очень много, то законы статистики здесь выполняются безупречно строго.

Недавно был опубликован анализ статистических данных, казалось бы, очень редких событий – исследовалось творчество в области научно-технической деятельности. В статье ставился вопрос: сколь часто одно и то же открытие или изобретение делается одновременно несколькими людьми. Обработка материала привела к следующим выводам: за определённый промежуток времени два человека одновременно пришли к одному научному результату в 179 случаях, три человека – в 51, четыре человека – в 17, пять человек – в 6... Исследователь убедительно показал, что к творческой научной деятельности можно смело применять законы теории вероятностей. Рассуждал он следующим образом.

Представьте себе сад научных открытий. В нём имеется яблоня, на которой растёт тысяча спелых яблок. По саду гуляет тысяча учёных, глаза которых завязаны. Их подводят к яблоне и просят одновременно сорвать по одному яблоку. (Поскольку задача математическая, то мы просим снисхождения к реальности обстановки.) Предполагается, что каждый из участников может дотянуться с равной вероятностью до любого яблока. При такой постановке вопроса можно рассчитать, каковы же шансы обнаружить на одном яблоке одну или несколько рук друзей по профессии. Получаются данные, поразительно близкие к тем, которые мы привели выше.



Статистические распределения всегда представляют познавательный интерес, а в очень многих случаях знание статистики даёт руководство к действиям.

Остановимся же на двух важных примерах: на страховании жизни и предсказании погоды.

Двум... не бывать!

Люди не очень любят размышлять о грядущей неприятности, а тем более о кончине дней своих и своих близких. По этой причине наш разговор о статистике смертей может показаться

излишним и бестактным. Однако наступает день, когда мы начинаем интересоваться дальнейшей своей судьбой и вопросами страховки.

Допустим, вы хотите застраховать в одну тысячу рублей свой дом от пожара, своё имущество от кражи или свою жизнь от смерти сроком на один год. То есть вы хотите, чтобы в случае, если произойдёт какая-либо из этих неприятностей, вам (или вашим наследникам) уплатили тысячу рублей. Чему должен равняться страховой взнос за год, чтобы государству (или страховой компании) имело бы смысл заключить с вами контракт?

Нетрудно сообразить, что суть дела состоит в том, чтобы знать вероятность того несчастного случая, от которого вы себя страхуете. Не всегда это простая задача. Волей-неволей страховой агент должен абстрагироваться от частных случаев, скажем он постарается учесть состояние вашего здоровья, чтобы отнести вас к определённой категории плательщиков. Правда, ему останется неизвестно, насколько умело и нерискованно вы водите свой автомобиль или насколько вы вспыльчивы и как часто вступаете в уличные драки. Однако, пренебрегая всем этим и многим другим, Госстрах отнесёт вас к одной из возрастных категорий, составленных на основании длительных наблюдений и о которых известна статистика смертей. Эти статистические данные сведены в таблицы «дожития». В них записано, сколько из миллиона родившихся в один и тот же год мужчин в данной категории доживают до определённого возраста. Например, во Франции в 1895 году (у меня эти таблицы под рукой, а все примеры одинаково показательны) до 40 лет доживало 717 338 человек, а до 41 года – 711 352 человека. Таким образом, вероятность сорокалетнего человека прожить ближайший год равняется 0,992, соответственно вероятность умереть равняется 0,008. Из миллиона человек до 80 лет «добралось» 166 162, до 81 года – 145 553. Вероятность прожить год с 80 до 81 уже равняется 0,876, а вероятность покинуть мир 0,124.



Чтобы вести свою работу, так сказать, «вничью», страховой организации следует определить страховые взносы по страховкам следующим образом. Меньше чем в одном случае из ста страховок придётся выплатить тысячу рублей семьям сорокалетних клиентов. Чтобы оправдать эту тысячу рублей, надо установить страховой взнос что-нибудь около 10 рублей в год за тысячу рублей страховки. Принимая во внимание, что страхование должно приносить доход, эта сумма должна быть соответственно увеличена. Страховка восьмидесятилетних стариков возможна лишь на гораздо более дорогих началах: из ста страховок уплатить придётся в среднем более чем в двенадцати случаях. Следовательно, годовой страховой взнос должен быть выше чем 120 рублей за тысячу.

Надеюсь, что читатель не сердится на меня за напоминание о конечности жизни; мне кажется, что «*Memento mori!*» – полезный возглас. Человек живёт значительно разумнее, спокойнее и полнее, если он время от времени вспоминает о сроке, отпущенном ему природой,

зная, сколько «в среднем» живут люди его возраста.

Кстати, для ответа на этот последний вопрос существуют особые таблицы среднего срока ожидаемой жизни. Скажем, для пятидесяти лет этот срок близок к 20 годам, для шестидесяти – к 13, для семидесяти – к 8 и для восьмидесяти – к 4 годам. Смысл этих чисел таков: средняя продолжительность жизни лиц, перешагнувших за пятьдесят, равна 70 годам, за шестьдесят – 73, за семьдесят – 78 и за восемьдесят – 84.

Так что не надо прибегать к услугам кукушки, чтобы выяснить, сколько ещё осталось лет для того, чтобы поумнее распорядиться своей жизнью.

А теперь о погоде

Вряд ли есть радиопередача, пользующаяся большей популярностью, чем сообщение о погоде. Хорошая погода для человека – это залог хорошего настроения. Ведь план ближайшего дня иногда сильно зависит от погоды, не говоря уже о планах отпуска.

Прогноз погоды слушают внимательно: негодуют, когда он не выполняется, радуются удачам метеорологов.

Метеостанции, раскиданные по всем уголкам земного шара, ведут систематические наблюдения за погодой уже много десятков лет. Ими накоплен огромный материал о температуре воздуха и почвы, об облачности и ветре, о давлении и количестве осадков. Хотите узнать, какая температура воздуха была в 10 часов утра 12 июля 1927 года в городе Ефремове? Пожалуйста, порывшись в архивах, вы найдёте эти сведения. Все они обрабатываются по тем правилам, которые мы обсуждали.

Для каждого элемента погоды построены самые разные кривые распределения. Ведь не угадаешь наперёд, какие случайные величины заинтересуют специалиста, планирующего сельскохозяйственные работы, и курортника, интересующегося погодой в прогулочных целях. В метеорологических справочниках приведены средняя годовая температура, средняя месячная температура, средняя максимальная температура (для каждого дня всегда отмечается верхняя отметка, до которой добиралась ртуть термометра), средняя минимальная температура... Все эти величины подвержены беспорядочным (и систематическим) колебаниям. Поэтому интересны средние отклонения от средних значений для всех этих величин.

В этом году я собираюсь поехать встречать Новый год в Сухуми или Гагру. Перед принятием такого решения я выписал из библиотеки справочник по климату и с нудной дотошностью учёного деятеля стал анализировать данные о погоде этих мест.

Оказалось, что у меня есть шансы попасть в настоящую жару. В городе Сухуми в январе был однажды зафиксирован абсолютный максимум температуры в 24 градуса. Вспомнив, о чём писал на предыдущих страницах, я решил не полагаться на мизерную вероятность повторения такой температуры в эту зиму и в соответствующей таблице нашёл «средний из абсолютных максимумов». (Это вот что такое. Каждый год отмечается максимальная температура января, февраля и т.д. «Среднее», о котором говорится, было выведено чуть ли не за 100 лет.) «Средний абсолютный максимум» оказался равен 18 градусам. А на такую температуру, хотя бы в течение одного-двух дней, уже можно рассчитывать даже невезучему субъекту. Восемнадцать градусов в тени – этого совершенно достаточно, чтобы с полным наслаждением загорать; а загорать на солнце в январе – это совершенно превосходно. Значит, беру отпуск в январе.

Но, скажет внимательный читатель, знание одного лишь среднего значения абсолютных максимумов совершенно недостаточно, чтобы судить о вероятности события. Ведь нормальная кривая может быть очень плоской, колокол может быть невысоким, и тогда вероятность среднего будет невелика.

Правильно. Такие 18 градусов – сомнительный залог блаженства. Я продолжаю листать справочник и нахожу то, что требуется. Другая таблица даёт значение «среднего отклонения» «средней максимальной температуры» от «многолетнего среднего январского»: это 2 градуса. («Среднее отклонение» – это ещё одна характеристика ширины кривой нормального распределения. Полуширина кривой, с которой мы подробно познакомили читателя, немного больше «среднего отклонения».)

Как получены эти 2 градуса? Предположим, в 1900 году средняя январская температура

равнялась 15 градусам, в 1901 году – 14, в 1902 – 18, в 1903 – 20, в 1904 – 17 и т.д. Поместив рядом, в следующей графе таблицы, абсолютные отклонения от среднего (то есть от 18 градусов), получим для 1900 года – 3, 1901 – 4, 1902 – 0, 1903 – 2, 1904 – 1 и т.д. Теперь остаётся сложить эти цифры за все годы наблюдений и разделить на число лет. Так были получены эти 2 градуса.

Добыв «среднее отклонение», я значительно прояснил условия проведения своего отпуска. То есть могу достаточно смело рассчитывать на то, что встречу с такими днями, когда температура будет лежать в пределах 16–20 градусов. Ну а будут ли отклонения от 18 градусов больше 2? Возможно. Но если температура не поднимается выше 14 градусов (отклонение в два раза больше среднего), то я буду считать, что мне не повезло. Если же за месяц пребывания в Сухуми столбик термометра не пересечёт 12 градусов – это уже редкостное невезение, и старожилы скажут, что такого они не помнят.

На этом можно было бы закончить разговор о метеорологических исследованиях, но я засомневался в его исчерпывающей полноте. Наши рассуждения насчёт вероятности отклонений справедливы в том случае, если распределение температуры подчиняется нормальному гауссову закону. А подчиняется ли оно на самом деле? Данные о «среднем значении» и о «среднем отклонении» от среднего – это хорошо, а «полная кривая распределения» всё-таки лучше. Какова она?

Составители справочника предусмотрели и такой запрос и привели данные для построения многолетней средней кривой распределения максимальных температур января. Согласно этим данным ниже нуля температура в январе не наблюдалась ни разу. В среднем 2,2 дня в январе имеют температуру между 0 и 5 градусами (можно сказать и так: вероятность температуры между 0 и 5 градусами в январе в городе Сухуми равняется $2,2/31$, то есть 0,07 (семь процентов шансов). Температура между 5 и 10 градусами наблюдалась в среднем в течение 11,3 дня января; между 10 и 15 градусами – 12,4 дня; между 15 и 20 – 4,7 и, наконец, между 20 и 25 градусами – 0,4 дня. Я построил кривую и увидел, что все в порядке – получилась нормальная колоколообразная кривая.



Дни с температурой выше 10 градусов (в Москве в это время мороз и заносы) я считаю превосходной погодой: можно загорать, купаться, ходить на водных лыжах, кататься на катере. А таких дней в среднем за месяц будет 17,5, то есть больше половины. Значит, вероятность хорошей погоды одна вторая: орёл или решка? Можно рискнуть – взять отпуск в январе и поехать загорать в Сухуми.

Итак, вы видите, что справочник по климату может великолепно служить руководством к действию: при его помощи можно делать определённые прогнозы. Некоторые предсказания оказываются почти категорическими: в январе в Сухуми температура ниже 0 не опускается, до плюс 12 в какие-то дни она повысится непременно и т.д. Менее решительные суждения могут быть сформулированы в виде предположений. И кой-какие прогнозы можно делать и без глубоких соображений. Разумеется, носят они вероятностный характер, но сохраняют этот характер и в том случае, когда их делают специалисты.

* * *

– Это ни на что не похоже, – сказала она тоскливо. – Пропал весь отпуск. Дождь и дождь не переставая. Сколько можно! А ещё говорят, что этот месяц обычно не очень дождливый.

– Старожилы говорят, что такого не помнят, – сказал он. – Аномалия. Не повезло. А что сказала бюро погоды?

– Обещают на завтра такую же погоду, как сегодня, – и после паузы: – Слушай, давай уедем, чёрт с ними, с путёвками.

– Не угадаешь. Уедешь, и как раз дожди кончатся. Хоть бы наука помогла. Вычислить вероятность продолжения дождей, что ли, а потом решить?

– Разве можно такие вещи вычислять? – с недоверием спросила она. – А потом... ну, допустим, вычислишь, получишь 30 процентов за дождь, а 70 против. Решим остаться и... проиграем. При 70 проиграть не так уж трудно.

Честно говоря, я не решился бы дать совет этой паре. Проиграть не так уж трудно и при шансах на выигрыш в 90 процентов. Но всё же, если следовать вероятности всегда, то, подводя итоги, придёшь к выводу, что расчёты помогли.

Что же касается возможности рассчитать, будет ли дождь идти завтра после того, как он уже льёт целую неделю, то она имеется. Существует довольно простая формула математика прошлого Томаса Бейеса, опубликованная впервые в 1763 году в его посмертной работе «Опыт решения одной проблемы теории вероятностей». В ней впервые был поставлен вопрос о том, как может быть использована теория вероятностей для составления того или иного суждения о явлении, располагая лишь ограниченным рядом наблюдений. Пусть перед нами урна с шарами. Шары могут быть только белыми, могут быть только чёрными, а могут быть и белые и чёрные, то есть состав шаров – смешанный. Мы скажем, что любой состав урны имеет равные априорные вероятности.

(Что такое априорные? Латынь, которая обильно украшала научные сочинения прошлого, вышла сейчас из моды, но некоторые слова оказались стойкими. К ним относятся *a priori* и *a posteriori*, что означает «до опыта» и «после опыта». Впрочем, даже и в этом случае мы предпочитаем вводить соответствующие русские прилагательные.)

Предположим, мы вытащили один шар: он оказался белым. Ситуация после этого сразу изменилась, поскольку уже ясно, что предположение, будто все шары чёрные, надо отбросить. А если мы вытащили 5 белых шаров подряд? Этот факт сильно повышает вероятность гипотезы, что в урне много белых шаров. Можно ли выяснить, какова вероятность, что белых шаров 100 процентов, или 90, или 80, после того, как произведён опыт? Или короче – какова априорная вероятность того, что в урне столько-то белых шаров после того, как мы вытащили из урны 5 белых шаров?

Вот такие и подобные проблемы решал Бейес в своей работе.

Одна из формул, выведенных Бейесом, отвечает на вопрос, который интересовал неудачливую пару, попавшую в полосу дождей. Если какое-то событие произошло несколько раз, то можно высчитать, какова вероятность его свершения и в следующий раз. Формула, как говорилось, очень простая, и её можно привести здесь, прибегнув – увы! – к алгебраическим символам, навевающим на некоторых все же страх или скуку: $p=(q+1)/(q+2)$ (вероятность равна дроби, числитель которой равен числу происшедших событий плюс единица, а знаменатель равен этому же числу плюс два). Значит, если дождь идёт один день, то вероятность, что он будет идти завтра, равна 2/3, если дождь идёт два дня, то на завтра вы можете ждать такой же погоды с вероятностью 3/4, три дня – 4/5... восемь дней – 9/10. Просто, не правда ли?

Но если бездумно применять эту формулу, то можно прийти к абсурду. Например, я два раза набирал по телефону 01, вызывая пожарную команду, и она приезжала: значит, если я буду вызывать её третий раз, то она прибудет тушить пожар с вероятностью в 75 процентов. Глупо ведь? Конечно, глупо. Или в этом году с Эйфелевой башни бросились и разбились две девушки, обманутые женихами. Значит, следующая имеет шанс из четырех остаться в живых. Глупо? Конечно, глупо. Но при чём здесь наша простая формула? Прочитав внимательно работу этого превосходного математика, мы увидим, что формула введена в предположении, что о

вероятности единичного события нам неизвестно ровно ничего, то есть что эта вероятность может быть любой – от 0 до 1.

Итак, формулу Бейеса следует применять в том случае, когда мы ровно ничего не знаем о единичном событии. Так ли обстоит дело с дождливой погодой?

На основании многолетних наблюдений в городе Брюсселе установлено, что если дождь идёт 1 день, то вероятность того, что он будет идти и завтра, равняется 0,63; если дождь идёт 2 дня – его вероятность на завтра равна 0,68, 3 дня – 0,70, 5 дней – 0,73. Согласно же формуле Бейеса мы должны были бы иметь 0,66; 0,75; 0,80 и 0,86. Хотя опыт и теория близки, полного совпадения нет: формула оказывается несколько более пессимистична, чем реальная действительность.

Лучше совпадают с выводами теоремы Бейеса данные, полученные при наблюдении смены температуры. По данным того же города Брюсселя, вероятность того, что завтра температура будет такой же, как и вчера, равна 0,75; если 2 дня температура была неизменной, то она останется такой же и завтра с вероятностью 0,76; если 3 дня неизменна, то сохранится и завтра с вероятностью 0,78; если 5 дней, то с вероятностью 0,83, и если температура не менялась 10 дней, то с вероятностью 0,85 она останется той же и в 11-й день.

Как видите, предсказание по принципу «сегодня как вчера» имеет обоснование в теории вероятности. Большинство прогнозов погоды носит именно такой характер, а чтобы судить о научной мощи предсказаний, надо было бы скидывать со счётов все прогнозы типа «погода остаётся без изменений». Кажется, так метеорологи и поступают, когда испытывают новые теории и схемы предсказания погоды. Предвидение потепления или похолодания – вот в чём должно проявиться понимание законов климата.

Но вернёмся к работе Бейеса. Мы проиллюстрировали примерами лишь одну из формул его теории, касающихся вероятности повторения событий. Но оправданы также попытки предсказания будущего и тогда, когда ряд событий неоднороден и состоит из чередующихся удач и неудач. В этом случае формула Бейеса меняется лишь незначительно: в её знаменателе будет стоять полное число событий плюс 2. Например, если проведённая на курорте неделя (7 дней) порадовала нас всего лишь одним хорошим днём, то вероятность дождя на восьмой день нашего отдыха будет вычисляться так: $P=(6+1)/(7+2)=7/9$.

Если в баскетбол играет сильная команда «Спартак» со слабой командой, скажем текстильного института, и если, придя с опозданием к началу состязания, мы узнаем, что счёт 1 : 10 в пользу института, то мы все же не поставим и гривенника против рубля за команду студентов. Для предсказания исхода состязания формула, о которой идёт речь, явно без пользы. Она «работает» лишь в том случае, если нам ничего не известно о вероятностях выигрыша и проигрыша команд – участниц состязания. Вот если бы я не знал, кто играет, и не видел бы техники игры, тогда, зная счёт 1 : 10, я действительно имел бы право сделать заключение: вероятность того, что следующее очко заработает ведущая команда, равна 11/13.

Интересно применение работы Бейеса в случаях, когда наши заключения об исходе события делаются на основании комбинации априорного (доопытного) знания и знания результата опыта. Из полной колоды карт потеряли одну. Какую – неизвестно. Некто просто «с потолка» высказывает гипотезу, что потеряна пика. Ясно, что при отсутствии какого-либо дополнительного знания вероятность этой гипотезы равняется 1/4. Вероятность противоположного утверждения, что потеряна не пика, равна 3/4. Поскольку автор первой гипотезы настаивает на проверке своего утверждения, то ставит опыт. Из колоды берутся две карты, которые оказываются пиками. Нетрудно видеть, что сторонники второй гипотезы после этого опыта укрепляются в своём мнении, а шансы авторов первой упали.



Формулы Бейеса позволяют произвести и количественные оценки. Можно рассчитать, насколько изменились вероятности гипотез после того, как получена дополнительная информация. Мы не будем приводить формулы и производить вычисления, а подчеркнём лишь идейную сторону дела.

Довольно редко дело обстоит так, что после проведённого единичного эксперимента ошибочные гипотезы смело могут быть отброшены, а единственно правильная поставлена на пьедестал почёта. Большой частью разовый опыт лишь изменяет вероятность достоверности высказанных гипотез. Если одна из них «взяла верх» над другими не слишком значительно, то потребуются и второй эксперимент, а может быть, и третий, и сотый. По мере накопления информации вероятность правильной гипотезы будет постепенно расти. Впрочем, рост может быть и не монотонным, а на каком-то разе так называемая правильная гипотеза может здорово проиграть и даже совсем рухнуть. Так в примере урны с шарами дело может обстоять следующим образом: вытянув десять чёрных шаров, мы уже почти уверимся в том, что в ней нет шаров иного цвета, а нет – одиннадцатый раз вытащили белый, и вопрос вновь остаётся открытым. В конце концов истина восторжествует и наступит ясность, и тогда опытное исследование может быть прекращено, и результат обнаружен.

Имеется ряд проблем, в которых вероятности гипотез могут быть достаточно хорошо вычислены на каждом этапе исследования в зависимости от полученного объёма информации. В подобных случаях планирование эксперимента может быть поручено ЭВМ. Машина будет оценивать вероятности всех гипотез после каждого шага и остановится тогда, когда вероятность одной из гипотез станет настолько значительной, что её можно считать истиной.

Работы Томаса Бейеса лежат в основе современного подхода к эксперименту. Подход этот используется в генетических исследованиях, в теории военной стратегии, в исследовании движения ядерных частиц и во многих других областях деятельности людей.

Миллион цифр

В заголовке мы написали «миллион цифр», а точнее надо бы было сказать – миллион случайных цифр. Такая книжка, не содержащая ничего, кроме миллиона цифр, вышла в свет и нашла своих читателей. Возьмём ряд случайных цифр: 0, 1, 9, 6, 7... Что, собственно говоря, означает, что они образуют случайную последовательность? И кого интересует такой ряд? Начнём с ответа на второй вопрос.

Представьте себе, что вы проводите обширный эксперимент по агротехнике. Поле разбито на 1000 небольших участков, каждый из которых должен быть ухожен определённым способом. Пускай способов таких (агротехнических систем) 10. Занумеруем их. Теперь нужно

решить, на каком участке какую агротехническую систему применить. Для этого каждому участку припишем какую-либо цифру от 0 до 9, и притом сделаем так, чтобы приписка была совершенно случайной. Только при случайной нумерации наши выводы о целесообразности того или иного способа обработки почвы будут лишены сознательной или бессознательной ошибки, связанной с тем, что для какого-то «излюбленного» способа выбираются лучшие участки.

Поручить кому-либо называть цифры наобум нельзя, нельзя даже ребёнку, который не заинтересован в пропаганде ваших или ещё чьих-то агротехнических теорий, нельзя потому, что, оказывается, каждый человек питает симпатию к одним и нелюбовь к другим цифрам. Поэтому «наобум» не будет означать «случайно». Ряды же случайных цифр нужны самым разным экспериментаторам: медикам и социологам, администраторам и полководцам, экономистам и метеорологам и многим-многим другим.

Нужду в случайных цифрах испытывают также и математики, решающие свои задачи так называемым методом Монте-Карло, который становится все более распространённым по мере увеличения числа электронно-вычислительных машин. Чтобы дать хоть некоторое представление об этом методе, приведём несколько простых примеров.

Мы хотим вычислить площадь произвольной сложной фигуры, какую представляет, ну скажем, Московская область на карте. Площадь всей карты найти просто – надо помножить её ширину на длину. А как быть с фигурой причудливой формы?

Представьте себе, что на карту падают капли дождя и случайным образом усеивают карту. Подсчитаем общее число капелек и число капелек, попавших на интересующую нас Московскую область. Ясно, что отношение этих чисел должно равняться отношению площади всей карты к площади Московской области.

Разумеется, подставлять карту под дождь не надо. Каждую каплю можно представить двумя случайными числами (двумя координатами на плоскости), и тогда «заполнение площадей каплями» можно произвести мысленно. Но для этого также нужна книга случайных цифр, о которой у нас идёт речь.

Ещё пример. Во многих задачах требуется вычислить, через сколько времени достигнет заданного барьера некая точка, если известно, откуда она вышла, и сказано, что движется она случайными шагами одинаковой длины, но направленными как попало. Разбив это «как попало» на 10 направлений (скажем, под углами 36° , 72° , 108° и т.д.), мы можем перемещать точку при помощи книги случайных цифр.

Итак, случайные цифры нужны. Но что же такое ряд случайных цифр?

На первый взгляд безупречным выглядит следующее определение: нет правила, по которому можно было бы, закрыв пальцами любую из цифр книги, угадать, какая она, с вероятностью большей, чем 0,1 (потому что цифр 10).

Однако это определение не подходит, и вот почему. При помощи счётных машин с точностью до ста тысяч цифр после запятой вычислена величина «пи» – замечательное число, начинающееся цифрами 3,14... Если бы вы взглянули на эту последовательность, то она вам показалась бы идеально беспорядочной. Во всяком случае, вы будете действительно угадывать любую цифру лишь с вероятностью 0,1. Более того, исследуя число «пи» повнимательнее, вы найдёте, что у него нет склонности к какой-либо особенной цифре и все они встречаются в среднем одинаково часто. Вы не найдёте также никаких особенностей в расположении двух или трех ближайших цифровых соседей. И тем не менее тот, кто знает, что это число «пи», может предсказать каждую следующую цифру.

Но дело обстоит ещё хуже для составителей книги случайных цифр, когда исследуется ещё одно число. Структура числа «пи» в глаза не бросается, а вот у такого числа, как 12345678910111213141516171819..., закономерность в расположении цифр – так сказать, узор ряда – вполне ясна. В то же время оказывается, что этот ряд удовлетворяет всем требованиям беспорядочной серии: вероятность появления каждой цифры равна 0,1; двух определённых цифр рядом – 0,01; трех определённых цифр – 0,001 и т.д. То есть никакие комбинации не имеют преимуществ.

После размышлений математики пришли к такому выводу: нет ничего странного в том, что ограниченная последовательность цифр обладает некоторым узором. При этом чем длиннее

серии случайных цифр, тем чаще на отдельных её отрезках будут встречаться самые странные узоры.

Все сказанное показывает, что было бы большой ошибкой ставить знак равенства между отсутствием узора в следовании цифр, штрихов или событий, с одной стороны, и случайностью этих событий – с другой. Вот вам пример: большего «беспорядка», чем расположение звёзд на небе, пожалуй, не придумаешь. Тем не менее оно полно созвездий, имеющих характерный рисунок.

В ряду случайных событий, таких, как появление «чёрного» и «красного» в рулетке, мы найдём и длинные ряды одинакового цвета, и ряды, в которых множество раз два «чёрных» чередуются с одним «красным». Будут такие случаи, когда «красного» будет больше в чётные дни месяца, а «чёрного» – в нечётные. Найдутся последовательности месяцев, когда число 13 упорно приходится на воскресенье. Любые такие события возможны, а чтобы увидеть их, надо просто подсчитать вероятность их появления и убедиться в том, что она больше одной миллионной.

Узоры случайностей – идея абстрактной живописи Джексона Поллока. Сообщалось, что этот «художник» выплёскивает как попало на длинное полотно краски с помощью разных леек, шланг, ведер. Рассуждал Поллок вполне правильно. При совершенно случайном нанесении красок на полотно на нём будут образовываться различные узоры, и не исключено, что часть из них будет смотреться с интересом и удовольствием.

Случайно возникающие узоры в форме или цвете создают красоту природы. Но беспорядок без узоров не производит впечатления; в нём нет никаких зрительных образов, которые вызывали бы у зрителя ассоциации и воспоминания. Беспорядок эмоционально беден.



Одним из способов введения порядка в беспорядок является наложение симметрии на хаотически разбросанные цветные пятна в бессюжетной декоративной живописи. Для этого художники зачастую прибегают к услугам калейдоскопа. Нехитрое это устройство, многократно отражающее в системе зеркал случайное расположение нескольких десятков цветных пятен, создаёт выразительные узоры. Многие из них потом оказываются рисунками на обоях.

Мастера декоративной живописи используют часто и другие приёмы введения порядка в хаос цвета и формы, например ритмическое повторение рисунка вдоль запутанного пути: спирали, зигзаги и т.д.

Декоративная живопись смело могла бы принять на вооружение таблицы случайных цифр и некоторые приёмы теории вероятностей, но художники, как правило, ещё сторонятся математики.

Эстетически невыразительной, по моему мнению, является и противоположная крайность в расположении цветов и форм – идеальный порядок. Справедливость этого утверждения видна из того, что даже в архитектуре идеальная симметрия и повторяемость вышли из моды.

Введением беспорядка в порядок заинтересовался один геометр, который стал известным

живописцем. Пример творчества этого голландского художника Эшера читатель найдёт в книге А. Шубникова и В. Копцика «Симметрия».

Довольно легко и широко стали использоваться идеи и методы теории вероятностей в музыке. Так же, как декоративная живопись, музыка (мелодия) лежит «посередине» между гудком телефона (порядок) и беготнёй котёнка по клавишам рояля (беспорядок). Следование друг за другом нот подчиняется правилам композиции лишь отчасти. Поэтому вполне правомерно поставить вопрос о вероятности следующей ноты в рамках правил, предписанных музыке. Но об испытании «гармонии алгеброй» написано много научных работ и популярных книг. Не устоял против этой темы и я, посвятив ей несколько страниц в книге «Реникса». Там я рассказал, как, вводя различное число инструкций, накладывающих узы на хаотическое следование звуков, получают музыку различных стилей.

Такими приёмами можно при желании исследовать музыкальную структуру того или иного произведения, можно характеризовать различных композиторов степенью случайности в выборе соседних звуков. Насколько мне известно, энтузиасты такого рода исследований встречаются редко. Причины надо, видимо, искать в различном духовном складе человека искусства и человека точной науки.

Цель наших замечаний сводится к тому, чтобы показать, что закономерности случая могут проявить себя в фактуре произведений искусства, а также и в том, чтобы отметить некоторые возможности использования миллиона случайных цифр в анализе предметов живописи, музыки, а может быть, и поэзии.

Телепатия – друг случайностей

Я беру монету и накрываю её шапкой. Мне известно, какой стороной сверху она лежит. Некто берётся отгадать это положение и просит меня лишь напряжённо думать о том, как лежит монета, воссоздать мысленно образ этой монеты. Что ж, можно считать это игрой и заключать пари: отгадает – не отгадает.

Если кто-нибудь мне скажет, что «Этот человек великолепный отгадчик», то я смело вступлю с ним в игру и поставлю рубль, что он не отгадает, скажем, 10 раз подряд против его двух рублей. Если он не захочет ставить два рубля, то пусть ставит рубль двадцать. Если и это много, то я скажу, что он не верит в своего отгадчика, и соглашусь играть с ним, поставив свой рубль против его одного рубля и пяти копеек. Я действительно принял бы это пари и разбогател бы быстрее владельцев игорного дома в Монте-Карло. Я убеждён, что нет на свете людей, которые могут угадывать, какой стороной сверху обращена монетка под шапкой, большее число раз, чем это предписывает теория вероятностей. Убеждён, что передача мыслей от одного человека к другому является невозможным событием, хотя имеется некоторое число людей, придерживающихся обратного мнения. Есть также небольшое число лиц, посвятивших своё время доказательству телепатии (так называется передача мыслей). Шестьдесят лет гоняются за этой синей птицей исследователи, именующие себя парапсихологами. Они испытали телепатические способности у тысяч людей. С каждым из них провели многие сотни опытов. Парапсихологи накопили грандиозный статистический материал.

Про историю, корни, психологические аспекты увлечения телепатией и всякими другими чёрными и белыми магиями подробно рассказано в той же книге «Реникса». В 1971 году вышла посвящённая этой теме переводная книга Ханзеля «Парапсихология» (изд-во «Мир»). Поэтому я отсылаю интересующегося читателя к этим книгам, а здесь остановлюсь на одной занятой странице телепатической истории, совершенно непосредственно связанной с темой вероятности.

В 1953 году английский натурфилософ Г. Спенсер Браун, человек, несомненно, острого ума, в английском журнале сообщил, что, по его мнению, некоторые частичные удачи в наблюдениях телепатов представляют собой не что иное, как узоры в ряду беспорядочных событий. По мнению Брауна, стоило бы поискать узоры такой же вероятности в таблицах случайных чисел. Браун писал: «Мне кажется очевидным, что статистически значимые результаты, обладающие такой же степенью “достоверности”, что и результаты телепатических экспериментов, могут быть получены простой выборкой из таблиц случайных цифр,

рассматриваемых как отчёт о телепатическом опыте».

Этот вызов взволновал общество парапсихологов, и некто А. Т. Орам годом позже опубликовал подробнейшую статью, целью которой было доказать, что результаты исследований в области парапсихологии никак не могут быть рассматриваемы как игра в рулетку. Орам не поленился изучить таблицы случайных цифр, составленные Кендаллем и Бабингтоном Смитом. Таблицы эти имеют такой вид: всего цифр 100 тысяч; на каждой странице 1000 цифр, расположенных в 20 парах колонок, в каждой колонке по 25 цифр. Такое расположение удобно для проверки идей Брауна. В чём, собственно говоря, заключается его предложение?

«Забудем на минуту, что перед нами таблица случайных цифр, – говорит он, – и предположим, что нам вручили отчёт о телепатических исследованиях. Каждая страница представляет результат испытаний одного отгадчика. Как мы только что сказали, на каждой странице 20 пар колонок. Будем считать, что левая колонка каждой пары содержит загаданные цифры, а правая колонка – результат отгадывания. Я утверждаю, – повторяет Браун, – что в этих таблицах, в которых, как, конечно, никто не сомневается, не должно быть никакого соответствия между цифрами левой и правой колонок, мы тем не менее отыщем такие соответствия, которые трактовались бы как великолепный телепатический результат, если бы лежащая перед нами книга была бы не таблицей случайных цифр, а отчётом испытаний телепатов».

Чтобы опровергнуть это утверждение, была мобилизована целая бригада английского парапсихологического общества. Работа не маленькая: надо было сравнить 50 тысяч цифр. Результат оказался великолепным. При полном беспорядке правильно угаданных цифр по теории вероятностей должно было бы быть около 5 тысяч; их оказалось 5029. То есть оказалось, что таблицы случайных таблиц «не обладают телепатическими способностями» и мистер Браун вроде бы оказался посрамлён. В статье Орама таблицы случайных цифр подвергались самым разнообразным испытаниям для того, чтобы показать, что, как ни komponуй случайные цифры, хаос и беспорядок в них торжествует и никаких «угадываний» со сколько-нибудь значительными отклонениями от вероятности, типичной для случайных событий, не происходит. Самую маленькую вероятность упорядочения в таблицах случайных чисел Орам оценил в 0,05. Вполне допустимый результат.

Прошёл год, и в печати появился ядовитый ответ Брауна. Сам того не ведая, Орам дал в руки Брауну блестящее доказательство справедливости идеи, что таблицы случайных цифр содержат узоры, хоть вероятность их и совсем невелика.

Дело обстояло следующим образом. Среди прочего большого цифрового материала Орам привёл цифры «угадываний» по страницам, разбитым на четыре части: левая верхняя часть, нижняя левая, правая верхняя и правая нижняя. Браун обратил внимание на обстоятельство, не замеченное Орамом. При полном беспорядке число угадываний после сравнения 50 тысяч пар цифр, разбитых на четыре части (по 12 500 пар цифр в каждой части), должно было бы быть близким к 1250. Отличия от 1250 оказались разными: для левых верхних частей страниц – плюс 46, для левых нижних – плюс 13, для правых верхних – плюс 2 и для правых нижних – минус 60.

Что же означал бы такой результат, если бы речь шла не о таблице случайных цифр, а об отчёте телепатии и каждая страница представляла бы собой результат одного телепата?

– Неужели после нашего эксперимента вы можете все ещё серьёзно опровергать факт передачи мыслей? – настаивал бы сторонник телепатии. – Смотрите, левая верхняя страница – это начало эксперимента, телепат бодр, и результат положительный. Далее наступает утомление, и в конце опыта – правая нижняя часть таблицы – уже сплошные неудачи.

– Здесь нет доказательства телепатии, – заметил бы противник.

– Как нет? Привлечём теорию вероятностей. Отклонение в плюс 40 от среднего результата в верхнем левом углу и минус 60 – в правом нижнем – событие, имеющее вероятность 0,005. Проверяйте, пожалуйста.

– Нет, зачем же проверять, вы превосходно знаете математику, но дело в том, что на предыдущих страницах книги мы установили, что отклонения от среднего, обладающие

вероятностью даже порядка одной стотысячной доли (0,0001), ещё не позволяют занести событие в разряд чуда. Так что ваш результат вполне может быть отнесён к ничего не значащей случайности.

– Ах, оставьте! Какая же это случайность? Попробуйте получить такой результат с помощью таблицы случайных цифр.

Таков, несомненно, был бы ответ на наши возражения сторонника телепатии.

Разоблачение ошибочной позиции, считающей возможным делать существенные выводы из ограниченного ряда наблюдений, произвело в своё время большое впечатление на читателей. Действительно, раз уж в таблице случайных цифр можно найти узоры, вероятность которых измеряется тысячными долями, то каждому стало ясно, что отдельные ряды «угадываний», обладающие вероятностью этого порядка, никак нельзя брать за доказательства телепатии.

Обычный стиль работы фанатика, желающего доказать свою правоту, прибегая к статистике, состоит в том, что он отбрасывает неудачные (на его взгляд) ряды (почему они неудачны, он вам сразу объяснит: исполнители опыта были нездоровы, или была скверная погода, или на Солнце были пятна и т.д.) и учитывает удачные.

Часть третья Красота и добро



Правильно в среднем



В век телевидения стало очень просто объяснять многие непонятные вещи. Зритель со всем знаком, все на свете уже видел. Ему не надо рассказывать, как выглядят бегемот или индийский храм. Незачем также тратить время на описание процедуры оценок участников конкурса на лучшего повара и правил проведения любого мыслимого спортивного состязания. Не сомневаюсь, что каждый знает, как оценивают спортивные судьи прыжки в воду, гимнастические выступления, фигурное катание, танцы на льду.

Десять, или около того, судей одновременно вытаскивают из своего запаса карточки, на которых изображены баллы. Обычно оценка выступления происходит в два приёма – за технику исполнения и за художественное впечатление (артистичность).

Показания судей за вычетом самого высокого и самого низкого складываются, и сумма баллов служит мерой спортивного успеха.

Конечно, баллы разных судей могут и не совпадать. Но различия в оценках, которые дают специалисты, совершенно пустяковые. И это обстоятельство вселяет уверенность в сердце каждого исполнителя и зрителя в полной объективности этого суда.

Такое поразительное единодушие судей удивляет неопытного зрителя. Действительно, все участники одинаково ловки, никто не упал, никто не сорвался... Но спустя некоторое время вы начинаете понимать, что пять баллов это одно, а пять и шесть десятых – это совсем другое.

Бег на сто метров? Обойдёмся без судей. Метание диска? Судьи не нужны... Но там, где результат соревнований определяется чёткостью, изяществом, смелостью движений, то есть в тех случаях, где спортивные достижения не могут характеризоваться метрами, секундами и килограммами, механизация судейства невозможна (я опять добавляю – пока).

Великолепный довод против сравнения человека с самой хорошей кибернетической машиной, не правда ли? Поспешу, однако, заявить, что я абсолютно убеждён, что сконструировать оценочную машину, которая подменила бы судей, нельзя только в настоящее время, а в принципе, конечно, возможно.

Вероятно, даже сам судья затруднился бы исчерпывающим образом объяснить, почему для одного спортсмена у него рука потянулась к табличке с пятью баллами, а для следующего он, не колеблясь, схватился за шестёрку. И правда, попробуй объясни. В мозгу запечатлелись маленькие неудачи: небольшое нарушение устойчивости, немного согнутые колени, неточность приземления; и маленькие выигрыши: изящный выгиб спины, стремительность полёта... Мозг с поразительной быстротой сопоставлял наблюдаемое зрелище с аналогичными картинками тысяч виденных ранее гимнастов или фигуристов. Память мгновенно перебрала все эти картины, отмечая тех, кто «работал» лучше, и тех, кто «работал» хуже. Спортсмен, подлежащий суду, зафиксировался в определённом месте этого ряда, и возникла оценка – только такая, и никакая другая.

Не надо слишком расстраиваться тем, что балл, показанный каждым из судей, неизбежно несёт на себе отпечаток его индивидуального вкуса. При выводе среднего балла положительные

и отрицательные отклонения сокращаются, и результат налицо – объективная балльная система существует.

Десять оценок – это, конечно, мало, чтобы построить кривую распределения и посмотреть, относится ли она к классу нормальных. Однако нет особых оснований в этом сомневаться: оценки судей (при условии, конечно, что они по-настоящему беспристрастны) легли бы на обычную гауссову кривую, ибо отклонения от средней оценки диктуются случайностями, то есть очень большим числом факторов, которые совершенно невозможно учесть. (Вот мы ещё раз повторили определение того, что есть случайное событие.)

Успешная работа спортивных судей – превосходный довод в пользу целесообразности применения в самых разных жизненных ситуациях методов статистического анализа и теории вероятностей. Сейчас мы и перейдём к разговору, тема которого – измерение художественного вкуса.

Экспериментальная эстетика

Эстетикой называют науку о прекрасном, науку о красоте. Определение выдаётся без труда. Но положение дел усложняется, если поинтересоваться, что красиво, а что не заслуживает этого высокого названия.

Определения красивого, которые можно найти и в старых и в современных книгах по эстетике, вызывают чувство раздражения своей бессодержательностью. Раскроем, например, «Краткий эстетический словарь» издания 1964 года на странице 170. Мы выясним, что «красота – одна из важнейших категорий эстетики, которая... служит для оценки таких эстетических свойств предметов и явлений действительности, как совершенство, гармоничность, выразительность, завершённость». Поинтересовавшись теперь, к примеру, что такое гармоничность, мы читаем на странице 47, наверное, научное, по мнению автора этой статьи, обоснование понятия гармонии: «Гармония является одним из существенных признаков прекрасного». Для ясности сообщаем, что «прекрасное... есть наиболее красивое» – страница 273.

Сочетания слов, которые приведены, называются по-русски просто и выразительно – пустословие. В словаре, который мы цитировали, красота оценивает совершенство, гармоничность, выразительность и завершённость. Однако очевидно, что каждый может понимать любую из четырех характеристик красоты по-своему.

Если искусствовед талантлив, то своим взволнованным рассказом он сумеет передать читателю те чувства, которые сам испытал при встрече с творениями художника. Ему и не придёт в голову придавать своей терминологии абсолютный смысл. Если бесталанен, то он попытается, играя словосочетаниями, вроде «гармоничные черты», «благородная осанка», «изящные линии, выразительный колорит», приблизиться к определению красоты. Пустая попытка. Без привлечения практики, опыта слова лишены содержания. И разобраться в том, что красиво, а что нет, какие вещи или произведения искусства эстетически значимы, а каким грош цена, можно сделать, лишь исследуя, что людям нравится.

Степень своего «нравится» каждый человек способен определить достаточно уверенно в том случае, если ему предложат сопоставлять родственные вещи.

Если каждый человек способен расположить в ряд по степеням «красоты» (в его собственном понимании) какие-либо явления, предметы или качества этих предметов, то, изучая ряды, составленные тысячами людей, исследователь в состоянии решить вопрос о степени объективности красоты. Таким способом мы можем сделать опыт верховным судьёй в эстетике. Красота в этом случае становится эмпирическим понятием, а оценкой красоты – случайная величина, являющаяся предметом статистического изучения.

Я всегда с большим интересом читаю раздел «Трибуна зрителя» в журнале «Советский экран», слежу за анкетными опросами, систематически проводимыми редакцией этого журнала.

Сразу бросается в глаза широкий разброс мнений.

Зрители с энтузиазмом утверждают противоположные вещи.

– «Великолепная семёрка»? Вредный фильм!

– Да нет же, он воспитывает благородные чувства!

- «Чёрные очки»? Сентиментальная пакость!
- Да нет же, это трогательный рассказ о любви!
- Григорий Чухрай провалил свой последний фильм!
- Да нет же, это его большая удача!

И зрители, и критики зачастую обвиняют инакомыслящих в полном непонимании задач кинофильма. Лишь редкое письмо заканчивается спокойным выводом: «Вообще-то это моё личное мнение, и оно ни к чему никого не обязывает. Каждый, по-моему, имеет право судить о виденном со своей точки зрения». Но таких зрителей немного. Большинство же полагает возможным считать, что их мнения по поводу любого виденного ими кинофильма, спектакля, зрелища абсолютно истинны.

Решительные суждения опасны. Каждый раз, когда я слышу: «Эта картина хорошая» или «Это провал художника», мне сразу же хочется спросить: для кого хороша? Для вас; для молодёжи; для индусов; для европейцев; для женщин; для людей, воспитанных Советской властью, и т.д. и т.п. Право же, прежде чем выносить окончательное заключение, надо (так же, как это делается в любой науке) прибегнуть к опыту.

Экспериментальное исследование в области эстетики – это выяснение вкуса широкого круга людей в отношении любых предметов, явлений, признаков. Оцениваться может красота стиха, рисунок обоев, здание станции метро, пьеса или кинофильм. Целесообразно иногда выяснить отношение людей к форме автомобиля или даже к тому или иному сочетанию цветов.

При основательном подходе к делу можно разработать широкий план исследования суждений о произведениях литературы и искусства, а выполнение такого плана даст возможность установить интересные статистические закономерности художественного восприятия. Обсудим технику дела.

Оценка «нравится – не нравится» может стать количественной, если ввести балльную систему, вроде той, что пользуются при соревнованиях по гимнастике. Правда, с небольшим добавлением: стоит предусмотреть, помимо положительных оценок, ещё и отрицательные. Нулевая оценка в этом случае будет означать равнодушие; отрицательные – «не нравится»; положительные – «нравится». Для различия степеней можно выбрать, скажем, десятибалльную шкалу. Так, если роман вас оставил равнодушным, выставляете ему оценку ноль, оценка плюс 1 – самая скромная похвала, плюс 10 – самое горячее одобрение. Напротив, минус 1 означает лёгкое неодобрение, а минус 10 – вы возмущены тем вредом, который несёт с собой прочитанный опус.



Как должна производиться обработка анкет? Прежде всего их следует сгруппировать по категориям опрошенных. Можно поинтересоваться оценками того или иного художественного произведения, вынесенными группами населения, различающимися по полу, по возрасту, по образовательному цензу, по социальному положению, по национальности, по партийной принадлежности. Чем на большее число групп вы разобьёте анкеты, а следовательно, однороднее по своему составу будет каждая группа опрошенных, тем интереснее и ценнее

будет исследование. Разумеется, для проведения такого тонкого разбиения следует охватить опросом как можно большее число людей, чтобы после дробления на узкие группы каждая из них состояла из сотен, а лучше – тысяч человек. Затем вы выводите среднее значение балла внутри каждой группы анкет.

Усреднение должно произвести нивелировку тех различий в оценках, которые вызываются индивидуальным воспитанием и различием в характерах опрашиваемых. Разнобой во вкусах хорошо известен и естествен, поэтому не надо удивляться тому, что один и тот же кинофильм может получить диаметрально противоположные оценки даже двух товарищей-одногодков, работающих в одном учреждении на одинаковых должностях. И тем не менее закон среднего сработает, и разнобой во мнениях среди членов однородной группы будет встречаться несравненно реже, чем совпадение в оценках.

Однако не следует ограничиваться выводом среднего балла. Наши тысячи анкет позволяют получить более богатую информацию об эстетическом вкусе участников эксперимента. Можно построить кривую распределения и посмотреть, похожа ли она на нормальную колоколообразную кривую, характерную согласно теории вероятностей для случайных событий.

С этой целью придётся разложить анкеты по стопкам, в каждой стопке анкеты с одинаковыми баллами. Затем надо пересчитать анкеты и выяснить, какой процент опрошенных из данной узкой группы выставил оценку 0, какой процент – плюс 1, минус 1 и т.д. После этого можно переходить к графическому построению.

Проведём горизонтальную линию на клетчатой бумаге и проставим в середине 0, через клетку вправо отложим плюс 1, ещё через клетку – плюс 2 и т.д., таким же образом влево отложим отрицательные баллы. Из каждой отметки восстановим перпендикуляр – вертикальный отрезок, длина которого в каком-либо масштабе должна быть равна соответствующему проценту опрошенных. Если теперь провести через вершины всех вертикалей плавную линию, то получим кривую, характеризующую эстетический вкус (по отношению к исследованной теме) всего круга людей, привлечённых к эксперименту.

Если кому-либо покажется святотатством иллюстрировать таким образом (такими графиками) исследования в области эстетики, то можно ограничиться двумя важными понятиями, уже знакомыми читателю. Одно из них – разумеется, средний балл. Очевидно, это будет точка горизонтали, лежащая под максимумом нашей кривой. Второе – степень единодушия в оценке. Что это такое?

Представьте себе два опроса, один из которых привёл к узкой кривой с острым максимумом, а другой – к пологой кривой, охватывающей весь интервал оценок и лишь незначительно возвышающийся в месте своего максимума. В первом случае подавляющее большинство опрошенных держится одного мнения; во втором – нет единодушия, мнения разделились, и каждый балл встречается почти одинаковое число раз. Чем измерять в этих случаях степень единодушия? Очевидно, его будет характеризовать полуширина колокола.

Как видите, методы статистической обработки анкет, отражающих эстетический вкус людей, не будут сколько-нибудь отличаться от обработки данных из других областей знания, о которых шла речь на предыдущих страницах.

Наиболее целесообразным в экспериментальной эстетике является такое исследование, в котором опрашиваемому предлагают сопоставить эстетическую ценность большого числа произведений и расставить их в ряд – «по росту», выделив самое красивое, чуть похуже, ещё некрасивее и т.д. Я не стану останавливаться на способах статистической обработки таких экспериментов из боязни наскучить читателю. Но полагаю, сущность метода очевидна. Каковы же его достоинства?

Статистический подход позволяет исключить крайние мнения, нетипичные для своего времени и круга лиц. С его помощью можно отыскать количественный критерий красоты, справедливый для определённой группы лиц. Имеется возможность поставить систематические исследования «красоты» как сложной функции социальных, национальных и биологических признаков.

Исследование вкуса является фундаментом эстетики. Нет возможности дать сколько-нибудь разумное определение красоты, не прибегая к описанному эксперименту. Нет

другого определения «красивого», «эстетически впечатляющего», чем то, что называется словом «нравится».

Итак, оказывается, что человек способен находить в природе и предметах искусства особенности, позволяющие располагать предметы и явления в ряды по степени «нравится». Именно это обстоятельство позволяет дать разумное определение красоты и делает исследование вкуса фундаментом эстетики.

Эта мысль высказана К. Марксом следующим образом: «Животное формирует материю только сообразно мерке и потребности того вида, к которому оно принадлежит, тогда как человек умеет производить по меркам любого вида и всюду он умеет прилагать к предмету соответствующую мерку, в силу этого человек *формирует материю* (курсив мой. – А. К.) также и по законам красоты».

Формировать материю по законам красоты и означает располагать предметы материального мира в ряды по степеням «нравится».

Объективность красоты

Редакторы журналов, получающие письма читателей, организаторы анкет, изучающие мнение кинозрителей, искусствоведы, достаточно широко общающиеся с посетителями художественных выставок, литературные критики, прислушивающиеся к мнению библиотекарей, имеют достаточные представления о многих закономерностях общественного вкуса. Синтез всех этих мнений, разумеется, не заменяет систематических экспериментов, которые пока что проводятся в довольно скромных масштабах. Но если сложить все упомянутые сведения воедино, то окажется, что некоторые выводы сделать можно.

Первый из них будет состоять в том, что члены достаточно однородной по своему составу группы будут в основном единодушны в своих оценках того или иного произведения; совпадение мнений будет несравненно более частым, чем резкие отклонения в отрицательную или положительную сторону. Короче говоря, кривая вкуса будет нормальной, то есть будет иметь отчётливо выраженный максимум и плавно спадать от него как влево, так и вправо.

Если бы оказалось, что результат опыта приводит к кривой с двумя максимумами, это значило бы, что аудитория неоднородна: имеются две разные группы, мнение каждой из которых характеризуется своей кривой.

Нет сомнений, что многие произведения литературы, живописи, музыки, будь то поэма, картина или песня, оставляют людей равнодушными. В этом случае результатом опыта будут, очевидно, колоколообразные кривые с максимумом в ноле, а число отрицательных и положительных мнений окажется примерно одинаковым.

Внутри одной группы оценка красоты может быть вполне единодушной, мнения же двух разных групп будут расходиться кардинально. Скажем, исследуйте отношение к детективному роману студентов физического факультета университета и женщин пенсионного возраста, и я не сомневаюсь, что вы получите очень разные кривые, с разным расположением максимума относительно ноля.

В особую группу следует выделить тех людей, которым кажется, что хороший вкус есть удел знатоков. Они боятся показаться необразованными и отсталыми и потому с натянутой улыбкой заявляют, что в восторге, скажем, от Джойса. При выяснении же оказывается, что Джойса они не читали, но слышали, что читать его одно удовольствие. Они поведают вам также, что стыдно не любить Анатоля Франса и не стоит признаваться в приверженности к сочинениям Александра Дюма. Добрая половина посетителей симфонических концертов и опер, бесспорно, получает истинное наслаждение, но и немалый процент их с трудом прячет зевоту, но упорно высиживает до конца: как же, неприлично не любить серьёзную музыку.

Как видите, выяснить степень искренности отношения некоторых людей к произведениям искусства иногда нелегко. Но вдумчивый исследователь-социолог сумеет обойти эти трудности.

Планирование социологического эксперимента заключается прежде всего в отборе категории лиц, мнение которых желательно выяснить. Вряд ли целесообразны тотальные опросы. Если в группах опрашиваемых нет общности ни в воспитании, ни в образовании, ни в

возрасте, ни в социальной принадлежности и т.д., то результатом эксперимента скорее всего будет гауссова кривая со слабо выраженным максимумом над нолём и с хвостами, одинаково далеко простирающимися и в сторону отрицательных оценок, и в сторону положительных.

Я сам неоднократно был свидетелем такого разнобоя мнений, посещая обсуждения новых кинофильмов. Проводится это мероприятие обычно так. Демонстрируется фильм. После просмотра на сцену выходят постановщик и актёры и рассказывают, как снимали картину. Затем, обращаясь в зрительный зал, просят публику высказать свои впечатления. После долгого раскачивания начинаются выступления. Один оратор говорит, что фильм ему не понравился, он хуже романа, положенного в основу сценария, и только хорошая игра актёра Х – он лучше всех играл – спасает фильм. Другой заявляет, что фильм лучше романа, постановка превосходная, но все портит актёр Х. Третьим выступает очень серьёзный мужчина, который утверждает, что все бы хорошо, но нет в картине социального звучания. Зато четвёртый оратор радуется создателей фильма заверением, что низкие художественные данные кинокартины надо оправдать её большой общественной значимостью. В таком духе обсуждение может продолжаться довольно долго, если собрались случайные лица и зал не подготовлен к просмотру и обсуждению фильма.

Пестрота вкусов читателей превосходно известна редакциям журналов. Положительных и отрицательных мнений по поводу любой проблемы, затронутой журналом или газетой, бывает чаще всего «так на так». А если восемь из десяти откликов хвалебных, считайте, что обсуждаемое произведение близко к шедевру. Артисты одного эстрадного ансамбля мне как-то рассказывали, что у них шли два номера подряд. Когда давали концерт в Москве, первый номер был освистан, а второму долго аплодировали. В Киеве же все получилось наоборот.

Надо ли удивляться, что многие книги, фильмы и картины нравятся одним и не нравятся другим? Я скорее буду поражён, если окажется, что уайльдовский «Дориан Грей» в равной степени понравится рабочему индусу из Бомбея и молодому чемпиону-яхтсмену из Норвегии. Один и тот же эстетический «импульс» заставляет недоуменно пожимать плечами одного и приводит в трепет другого. Это различие в большой мере зависит от воспитания. В том, что вы не понимаете искусства, доступного другому, нет ничего унижительного. И было бы плохой услугой самому себе пытаться насильно привести себя в состояние ложного восторга.

Национальные различия, социальные условия, возраст, воспитание в семье, наложенные на врождённый характер, создают очень непохожих людей, и было бы странным, если бы эти непохожие люди одинаково оценивали все произведения искусства.

Трудно судить о чужой национальной культуре. Мне представляется, что англичанин, француз, японец и индус могут иметь некое общее мнение о русской культуре. Но оно, это мнение, вряд ли будет совпадать с русским «нравится».

Для русского Пушкин не имеет равных. Это наш национальный гений. Он первый в плеяде великих русских писателей. Но иностранцам трудно оценить величие Пушкина; Толстой и Достоевский значат для них больше.

Так же точно крайне затруднительно неангличанину понять ту заоблачную высоту, на которую вознесён в стране Альбиона Чарлз Диккенс.

Относительна не только национальная оценка, но и оценка века. Достаточно сослаться на воспоминание Мейерхольда: увлечение ныне начисто забытым Боборыкиным было столь велико, что многие полагали этого заурядного писателя выше Шекспира. А отношение современников к Чехову? Десятки писателей, сочинения которых сейчас оставляют равнодушными, оценивались современниками в несравненно более лестных выражениях.

В чём тут дело, достаточно очевидно. Лишь сегодня можно отличить художественную правду Чехова от фальши и поверхности Боборыкина. Как бы то ни было, статистический анализ и здесь будет полезным, являясь превосходным способом обнаружения закономерных сдвигов общественного мнения в оценках произведений искусства и литературы.

«В чём же выражается объективность красоты?» – спросит читатель. Да в том, что тысячи и тысячи людей судят одинаково об одном и том же. И, несмотря на то, что красота (то есть степень «нравится») зависит от множества причин – есть функция многих переменных, – она не перестаёт быть объективной.



Это заключение достаточно очевидное. В самом предмете искусства или в природе имеются свойства, делающие этот предмет красивым для данной группы людей, а в ряде случаев и для всех людей.

В «К критике политической экономии» К. Маркс писал: «Золото и серебро не только в отрицательном смысле излишни, т.е. суть предметы, без которых можно обойтись, но их эстетические свойства делают их естественным материалом роскоши, украшений, блеска, праздничного употребления, словом, положительной формой излишка и богатства. Они представляются в известной степени самородным светом, добытым из подземного мира, причём серебро отражает все световые лучи в их первоначальном смещении, а золото лишь цвет наивысшего напряжения, красный. Чувство же цвета является популярнейшей формой эстетического чувства вообще».

Судьба маркиза

Квантификация есть введение количественной оценки. Этим умным словом характеризуют иногда то, что делают судьи, проставляющие балльные оценки гимнастам и конькобежцам.

Только что мы рассказали о том, как возможно оценивать числами красоту картины и художественные достоинства театральной постановки. А можно ли таким же образом судить о моральных качествах людей и о моральных ценностях вообще? Большинство согласится с объективностью качественных оценок в области морали. Скажем, все сойдутся на том, что Иван храбрее Петра, а Таня добрее Людмилы. Но можно ли сказать храбрее в два раза, добрее в три раза и умнее в десять раз?

Попытки количественной оценки подобных качеств уходят корнями в далёкое прошлое. Минувя древних египтян и Аристотеля, напомним лишь классификацию чувственных грехов согласно святому Ансельму. «Святой» располагает их в ряд в соответствии с числом органов чувств, участвующих в совершении греха. Поскольку органов чувств 5, то возможно 10 грехов, в содеянии которых участвуют по 2 органа чувств (10 комбинаций – по 2 из 5 – глаз и рука, глаз и ухо, рука и ухо и т.д.). Далее идут 10 грехов, в совершении которых участвовало по 3 органа чувств (опять-таки из 5 элементов могут быть образованы 10 троек), ещё более тяжкие 5 грехов, в которых действовали четыре чувства, и, наконец, один-единственный, самый тяжкий грех, в котором виновниками являются все пять чувств.

Святой Ансельм не занимался статистическим исследованием этой моральной шкалы. Видно, что с теорией вероятностей он знаком не был. Поэтому первые попытки построения количественной этики мы отнесём уже к XVIII веку.

Родившийся в 1743 году маркиз де Кондорсэ вошёл в историю как автор примечательного мемуара под названием «Опыт применения теории вероятностей к решениям, принятым большинством голосов». Основной темой этого сочинения являлся анализ работы судей

(присяжных заседателей). Как же де Кондорсэ применял сложный математический аппарат к решению юридических проблем? Вот одна из основных задач.

Имеется несколько судей. Их число должно быть нечётным, и все они должны быть одинаково честны, одинаково способны к заблуждениям, словом, говоря математическим языком, полностью эквивалентны. В этом случае вероятность ошибки в вынесении вердикта «виновен, невиновен» может быть различна лишь в зависимости от запутанности дела.

В чём же смысл задачи? Он вполне практичный, а цель весьма благородна: найти такое число присяжных, чтобы при вынесении приговора ошибка была полностью исключена. Пусть, скажем, вероятность того, что один присяжный ошибётся, равна 0,3, тогда вероятность того, что ошибутся два судьи, будет равна 0,09. Вероятность несправедливого мнения трех судей уменьшится до 0,027, а четыре неверных мнения осуществляются уже с вероятностью, меньшей одного процента.

Подобными рассуждениями можно установить число необходимых присяжных заседателей для различных судов (гражданских, военных и т.д.), введя, разумеется, серию более или менее произвольных гипотез. Это Кондорсэ и делает. Оказывается, количество судей не должно быть слишком большим; 10–15 человек обеспечивают справедливость закона.

Работы Кондорсэ были встречены далеко не единодушно и оценены впоследствии также очень по-разному. Английский философ Стюарт Милль резко осуждал Кондорсэ за произвольность гипотез, положенных в основу вычислений, и в своей книге «Логика» писал, что работа Кондорсэ демонстрирует дурное применение теории вероятностей и является скандалом для математики.

Кондорсэ писал в предисловии к своему труду, что он уверен в возможности применения в учении о морали тех же методов исследования, на которых основано естествознание, и что это мнение ему кажется дорогим и важным, потому что оно вселяет надежду на прогресс человечества и ведёт к счастью и совершенству общества. Правда, один из оппонентов Кондорсэ ядовито заметил, что вера Кондорсэ в совершенство человеческой расы, вероятно, пошатнулась, когда он в 1794 году оказался в тюрьме. Тем не менее многие французские математики, начиная с Пуассона, с глубоким уважением отзывались о бедном маркизе, высказывая уверенность, что наивные попытки Кондорсэ не останутся без продолжателей.



Возможность и необходимость применения теории вероятностей в этике робко обсуждалась в работах некоторых математиков прошлого и начала этого века.

Наиболее уверенно о пользе переноса понятия вероятности в область морали говорил известный французский математик Эмиль Борель. Вот как он рассуждал о возможности количественной оценки такого человеческого качества, как эгоизм.

«Самое возвышенное правило морали, когда-либо предлагавшееся людям, – начинает

Борель, – заключается в евангельской заповеди – возлюби ближнего, как самого себя».

Однако, рассуждает он далее, насколько реалистична эта заповедь? Нетрудно видеть, что человек, рассматривающий обитателей не только земного шара или своей страны, но даже одного своего села как самого себя, должен разделить все, что имеет, на такое число частей и направить свои интересы и свою деятельность по стольким руслуам, что жизнь его станет невозможной. Исходя из этого, предлагает Борель, надо упомянутую заповедь заменить следующей: «Рассматривай своего ближнего как величину, эквивалентную не самому себе, а части себя, заключающейся между нолём и единицей».

Эта заповедь, которую можно назвать заповедью разумного альтруизма (или эгоизма), логична и должна способствовать нормальному развитию личности. Действительно, наше отношение к другому человеку вполне возможно описать неким коэффициентом альтруизма. (Коэффициент эгоизма равен, конечно, единице минус коэффициент альтруизма.) Коэффициент этот, очевидно, будет весьма высоким по отношению к жене и детям (у некоторых лиц он может доходить до единицы, падая у других иногда до ничтожных долей единицы); относительно прочих родственников он будет, вероятно, колебаться около одной второй. Сотыми долями единицы будет характеризоваться отношение к соотечественникам, и, наконец, ещё меньшим будет коэффициент альтруизма по отношению к любому человеку. Думается, что все сказанное справедливо. Действительно, очень редко можно встретить человека, который относился бы к «ближнему» с коэффициентом, равным нулю или отрицательной величине. Не иначе как сумасшедшим назовём мы субъекта, который способен поджечь дом соседа, чтобы собрать уголья для приготовления шашлыка. Очевидно также, что столь же редки люди, способные ради интересов постороннего человека предать забвению свои собственные. Так что коэффициент альтруизма по отношению к любому человеку лежит, бесспорно, между единицей и нолём.

Приведём ещё отрывок из книги «Случай», из которого видно, как Борель пытался количественно оценить чувства патриотизма и гуманизм.

«Из коэффициентов, которыми характеризуется любовь к ближнему, можно вывести оценки патриотизма и гуманизма. Для каждого из нас суммарный коэффициент, характеризующий наше отношение к соотечественникам, превышает суммарный коэффициент, характеризующий отношение к иностранцам.

Для патриота суммарный коэффициент по отношению к соотечественникам больше единицы, то есть интересы родины выше своих личных интересов. Суммарный же коэффициент по отношению к жителям другой страны надо, видимо, оценить каким-либо числом, промежуточным между нолём и единицей. Если бы мы оценили коэффициент отношения к другой нации нолём или тем более отрицательной величиной, то это означало бы провозглашение национального эгоизма, а во втором случае желательность войны».

Попытки Бореля, так же как и Кондорсэ, поставить этику на рельсы математики не встретили в своё время поддержки и рассматривались деятелями культуры и гуманитариями скорее как несерьёзные наскоки представителя точных наук на крепость гуманитариев.

В наши дни положение совсем иное. Поиск метода количественной оценки моральных качеств членов общества, разработка мер счастья и ума и другие подобные исследования перестали выглядеть никому не нужным оригинальничанием математиков, а превратились в научные задачи. Причина достаточно очевидна: квантификация этих понятий нужна футурологии – новой отрасли знания, разрабатывающей научные методы предсказания путей развития науки, техники, культуры, медицины, социальных отношений на ближайшие десятки лет. Методы эти связаны с обработкой большого количества статистического материала, связаны с поиском зависимостей между различными явлениями, процессами, фактами, определяющими черты будущего. «Вычисление будущего» – то, что в математике называется экстраполяцией, – является сложнейшей задачей вычислительной математики и может быть выполнено лишь на действующих электронно-вычислительных машинах. Но составление программы для ЭВМ требует количественных критериев. При этом на язык цифр приходится иногда переводить такие характеристики тех или иных членов будущего общества, которые не

измеряются ни метрами, ни килограммами, ни рублями. Здесь-то футурологи и обращаются к услугам «математиков-психологов-социологов» (такая уж «комплексная профессия»), занимающихся подбором оптимальных методов измерения способностей человека и его поведения в типичных жизненных ситуациях.

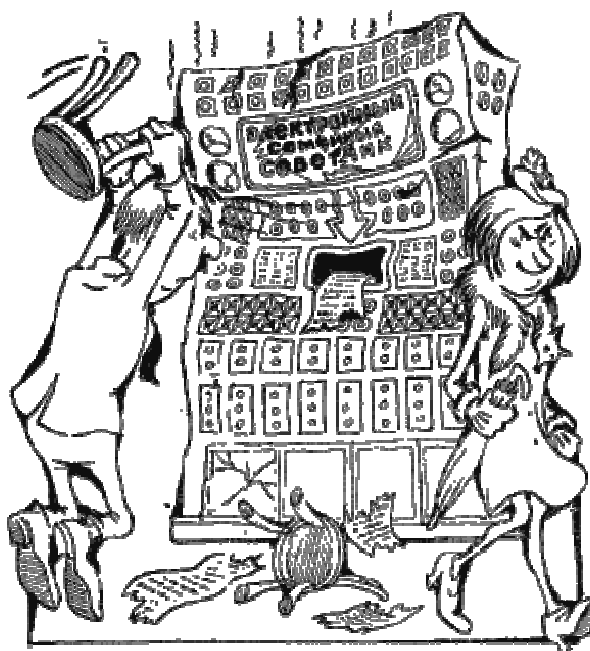
Работы Кондорса, Бореля и других зачинателей этой интересной области знания дали нам не более чем постановку вопроса. В статьях и книгах наших дней можно встретить уже конкретные предложения. Как, к примеру, измерить семейные радости?

Мера семейного счастья

Как-то я просматривал статью о средней американской домашней хозяйке. Эта средняя особа описывалась множеством цифр. Чего тут только не было – и число шагов, которые ей приходится делать в своей кухне за один год, и количество визитов к парикмахеру. Число посещений кино и театров характеризовали взаимоотношения средней дамы с культурой. Её физическое состояние описывалось высотой прыжка и временем пробега стометровки. До малейших деталей было расписано её дневное время: приготовление пищи, уборка квартиры, помощь детям в приготовлении уроков – всё было учтено.

– Не много значат все эти цифры, – заметил гостивший у меня Александр Саввич, – никакого представления о внутренней жизни женщины, о её чувствах, настроениях и переживаниях отсюда не получишь. А без этого что за картина?

– Ты не вполне прав, – сказал я после некоторого размышления. – По данным, которые приводятся в статье, мы видим, что домашняя хозяйка довольно часто бывает в театре. По-моему, это говорит, что духовные её интересы не умерли. Теперь посмотри сюда, видишь, она ссорится с мужем в среднем один раз в шесть недель, а крупные ссоры бывают не чаще чем два раза в год. Не кажется тебе, что и это свидетельствует о том, что её жизнь протекает спокойно и радостно?



– Не кажется, – сухо отрезал Александр Саввич.

– Ведь вот какое дело. Нельзя все же забывать, что чужая душа – потёмки. Мы вообще не имеем способов судить о том, что делается в душе человеческой. Видны лишь внешние атрибуты чужой жизни, поэтому исследователь вправе выбрать некоторые параметры в качестве характеристики если не счастья, то, по крайней мере, довольства жизнью.

– Ну и что?

– А если так, то есть возможность введения количественной оценки семейного счастья.

– Как же ты предлагаешь это сделать?

– Выбрать пять-десять параметров. Например, семейный доход, число вечеров, которые супруги проводят вместе у семейного очага, количество ссор, посещения родных и знакомых и

т.д. Всеми этими числовыми показателями я и оценю семейную жизнь количественно.

– Ну что же, это разумно. А как ты введёшь единое число, которое описывает семейное счастье? Трудно ведь сказать, что лучше – полное отсутствие ссор при минимуме совместных вечеров или, напротив, ссор много, но зато супруги всегда вместе.

– В математике существует такой приём: при сложении неодинаково существенных показателей им приписывают разные «веса». Скажем, можно условиться вводить в общую сумму, характеризующую «счастье», число ссор с коэффициентом 0,3, а число совместно проведённых вечеров с коэффициентом 1.

– И всё-таки я тебя не понимаю. Неужто ты серьёзно думаешь, что одинаковость твоих показателей означает, что семьи одинаково счастливы?

– Нет, этого я не думаю. Я полагаю лишь, что можно выработать такой индекс, который «в среднем» будет правильно характеризовать что-то вроде «семейного счастья».

Действительно, описать правдиво и выпукло душевное состояние человека под силу лишь большому писателю. Смешно и думать, что одним числовым индексом можно заменить, скажем, рассказ Толстого о семейной жизни Облонских. Исследователи квантификации этических понятий никогда и не помышляют о такой подмене, превосходно понимая, что эти характеристики носят условный характер и становятся интересными лишь после усреднения по всем членам группы. Но в то же время все они уверены в большой пользе подобных индексов для социальной науки, для психологии, для прогнозирования будущего.

Приведём ещё несколько примеров попыток введения количественных мер для таких свойств души, как ум, смелость, конформизм.

Очень широкое распространение получила оценка ума так называемым индексом интеллигентности (I.Q. – intelligence quotient). Этот индекс выводится из оценок, которые испытуемый получает за выполнение тестов – заданий. Разумеется, могут быть предложены самые различные наборы тестов.

Довольно давно я был взят в интересную экспедицию по горам и долам Кавказа в качестве объекта исследования на роль подопытной морской свинки. Психологи измеряли мой индекс интеллигентности в зависимости от высоты местности и ещё каких-то там географических факторов.

Я, конечно, позабыл уже, какова была вся программа испытания. Запомнились лишь две задачи. В одной из них мне давалась на рассмотрение картинка недостроенной кирпичной кладки. Внешние кирпичики были перенумерованы. Тест состоял в том, чтобы перечислить соседей, соприкасающихся с кирпичом номер 6, или 11, или ещё каким-нибудь. Отмечалось время, в течение которого я давал ответ. Как теперь я понимаю, задача эта была на пространственное воображение, которое входило в индекс.

Вторая задача была такова. Медленно зачитывались вслух тройки родственных слов. Скажем, «стакан, ложка, блюдце» или «лошадь, телега, упряжка»... Таких троек подавалась штук двадцать. Затем психолог произносил первое слово, а я должен был сказать два других. Это было испытание ассоциативной памяти. Далее шли простые арифметические задачи, вопросы по русской грамматике и многое другое. С какими коэффициентами различные показатели моего разума входили в индекс интеллигентности, я тоже не могу сейчас сказать. Помню, что индекс измерялся на уровне моря, в долине горной реки, у подножия Эльбруса, у Приюта одиннадцати, на седловине и на вершине Эльбруса. Результатом такого исследования явилась кривая падения I.Q. с увеличением высоты.

Изменения индекса под влиянием различных факторов являются методически безупречным исследованием: условность и относительность I.Q. играют в этом случае небольшую роль и не мешают физиологу и психологу делать выводы.

С этим заключением согласится, конечно, каждый. Возражения вызывает абсолютизация индекса интеллигентности. Если у одного он равен 10, а у другого – 5, то, значит, первый в два раза умнее второго. Так ли это?

И здесь ответ совершенно тот же, который был дан по поводу измерения семейного счастья. Нет сомнения, что индекс интеллигентности мерит что-то, имеющее отношение к уму и сообразительности. В известном смысле тот, у кого 10 очков, действительно в два раза «умнее» того, у которого 5 очков. Но ведь можно предложить самые различные индексы

интеллигентности, возразит читатель.

Конечно, можно. Ну и что? Разве, говоря о человеке, что «он умён», этим мы все о нём говорим? Как по-разному можно быть умным! Ум – как владение строгой логикой; ум – как быстрота сообразительности; ум – как понимание других людей. Практический, блестящий, глубокий, широкий... сколько есть прилагательных для характеристики одного и того же свойства! Что же после этого удивительного в том, что мы можем предложить десятки различных индексов интеллигентности.

Получить представление о складах ума Онегина или Печорина, милого друга Жоржа Дюруа или Раскольникова при помощи I.Q. – задача безнадёжная. Но исследователи, разрабатывающие количество меры духовных свойств, и здесь не пытаются конкурировать с «инженерами человеческих душ». Они решают свою скромную задачу, нужную и полезную не для анализа индивидуальности, а для массовых, глобальных, усреднённых суждений.

Понятия счастья и ума принадлежат к числу сложнейших. Для ряда других качеств человеческой души можно было бы предложить простые меры. Скажем, давно уже предлагалось измерять милосердие количеством подаваемой милостыни. Нетрудно предложить способ измерения конформизма – так называется свойство людей поддаваться чужому мнению безотносительно очевидности. В одном психологическом исследовании двадцати человекам предлагалось ответить, какой из трех звуковых сигналов наиболее громкий. Девятнадцать из них были подговорены – они давали неверные ответы. Выяснилось, до какой степени способен двадцатый настоящий испытуемый противостоять ошибочности в своей оценке громкости. Различие в силе сигналов, которого не желал замечать испытуемый, служило мерой конформизма.

Примеры эти показывают реалистичность введения количественных индексов и коэффициентов при обсуждении ума и характера отдельного человека.

Введение в обиход науки подобных индексов позволяет проводить исследование человеческой «души» методами естествознания, которые в существенной части сводятся к установлению функциональных зависимостей. Изучение природы немислимо без построения графиков, на которых некий игрек меняется в зависимости (в функции) от разных иксов. Располагая индексами счастья и интеллигентности, смелости и конформизма, можно пытаться решать разные задачи – строить графики, связывающие между собой проявления качеств души с внешними обстоятельствами или изучать связь между разными душевными свойствами, например умом и добротою.

Поскольку результаты таких работ будут иметь количественный характер, они могут быть представлены на языке цифр и использованы в ЭВМ в разных целях.

Но теперь перед нами встаёт новый вопрос. Способ измерения душевного качества, то есть метод получения соответствующего индекса, предлагается исследователям. Если для одной цели предложено много методов измерения, то как выбрать из них наилучший? Ответ таков: надо сопоставить числовые оценки с общественным мнением. Если разработанная процедура измерения I.Q. приводит нас к тому, что Иван умнее Петра в 2 раза, а Пётр умнее Виктора в 1+1/2 раза, то статистика мнений, проведённая среди их знакомых, должна привести к такому же результату.

Статистика мнений

Итак, одно из естественных требований, которое мы предъявим к моральному индексу, характеризующему этические нормы, – это соответствие общественному мнению. Мы скажем, что индекс выбран правильно, если подавляющее большинство членов общества согласится с тем, что семья Ивановых в два раза счастливее семьи Петровых, как этого требуют индексы счастья 106 и 53, найденные по той или иной процедуре.

По этой причине нам представляется важным, чтобы разработка моральных индексов шла параллельно со статистическими исследованиями общественного мнения. Надо иметь представление о том, как понимают такие-то слои такого-то общества в такое-то время и в такой-то стране слова: хороший и дурной, правильный и ложный, нравственный и безнравственный, смелый и трусливый...

Для этого нужна статистика общественного мнения. Существуют лаборатории и даже институты, посвятившие свою деятельность анализу общественного мнения.

Не так давно в одном из наших журналов был опубликован результат обработки анкет школьников, которым предлагалось расположить множество моральных качеств в ряд по ценности. Шкала добродетелей и пороков оказалась переменчивой и разнообразной. На порядок расположения свойств души влияли возраст опрошенных, их пол, место жительства и многое другое.

В одном многотомном английском труде приводился анализ ответов десяти тысяч девушек на вопросы о любви, семье и браке. Опрашиваемые были разбиты по возрастным группам и по вероисповеданию. Выявился ряд интересных закономерностей, лишней раз показавший, как сильно шкалы моральных ценностей зависят от воспитания.

Богатый статистический материал лежит в архивах издательств. Редакции многих наших молодёжных газет рассказывают на своих страницах трогательные истории о девушках, которые не раскрыли юношам свою любовь, или о жёнах, ушедших от мужей, не простив им случайной измены, или о юношах, оставивших без помощи в лесу заболевших товарищей, поскольку иначе не смогли бы выполнить важного задания... Рассказы сопровождаются обращением редакции к читателям: а как бы вы поступили на их месте?

Из ответов читателей, подборку которых редакции обычно публикуют, ясно следует, что часть из них полагает поступок героя хорошим, а другая часть столь же запальчиво утверждает, что герой поступил плохо. Разумеется, всегда есть группа читателей, которые на вопрос, поставленный ребром, отвечают уклончиво и с оговорками. Как бы то ни было, статистик всегда сумеет разбить оценки поступков героя газетного рассказа либо на две категории – хорошо и плохо, либо на три: хорошо, плохо и «смотря по тому...», а может быть, если гряда писем достаточно велика, сумеет разбить оценки более детально (полное одобрение, одобрение, слабое одобрение, безразличное отношение, слабое неодобрение, неодобрение, полное неодобрение), ввести балльную шкалу и построить гауссову кривую.



В результате подобной статистической обработки поступок героя получает количественную оценку, которая может формулироваться, например, так – поступок с баллом 3 на «шкале хорошего».

С помощью анкетного опроса можно, конечно, оценивать не только поступки героев рассказа, но также и отношение общества к тем или иным шкалам моральных индексов.

Таким образом, представляется достаточно очевидным, что развитие науки, изучающей мораль общества как функцию многих переменных, связано с переносом на эту важную область знания методов естествознания. С одной стороны, эти методы включают в себя разработку способов измерения моральных качеств и жизненных ситуаций, с другой – предполагают проведение статистики общественного мнения. Эти два подхода находятся примерно в

соотношении теории и эксперимента: предложенные шкалы измерений проверяются статистическим опросом.

Хотелось бы, однако, подчеркнуть, что короткий разговор о важных проблемах не носит профессионального характера. Задача этой книги состоит в том, чтобы дать обзор некоторых областей, где подход с точки зрения теории вероятностей полезен и целесообразен. На последних страницах мы увидели, что к этим областям относятся и некоторые разделы этики. Иначе и быть не могло, поскольку суждения о моральных истинах являются типичными случайными величинами, а «среднее» суждение оказывается сложной функцией от признаков, характеризующих группу людей.

Казалось бы, все сказанное можно скорее обвинить в тривиальности, нежели в оригинальности, и что статистика мнений и поведения, без сомнения, нужна. И всё же, судя по дискуссиям на страницах газет, есть люди, которые встречают крайне недружелюбно любые попытки «массового» рассмотрения этических проблем.

Противники социальной, этической и эстетической математики относятся, видимо, к тем лицам, у которых особенно ярко представлена жажда «единственности». Разумеется, жажда эта плохо мирится с представлением о том, что твоё мнение, твоё поведение, твоё моральное кредо являются всего лишь одной точкой на колоколообразной статистической кривой. И в этом смысле она, то есть такая жажда, есть социальное зло, поскольку ведёт либо к нетерпимости, либо к презрительному отгораживанию своего «я» от «серой» массы. А и то и другое одинаково неприятно.

Ещё несколько слов об исследованиях эстетического вкуса.

Анкетные опросы, которые ставят своей целью выяснить отношение читателей или зрителей к произведениям искусства, проводятся в последнее время достаточно часто.

Не так давно вышла в свет книга Л. Когана «Искусство и мы», в которой подводятся итоги анкетного опроса рабочей молодёжи нескольких промышленных предприятий Среднего Урала. Много интересного содержат приводимые в этой книге таблицы. Вот, например, как выглядит распределение ответов на вопрос: «Если у Вас есть своя фонотека, то какая в ней преимущественно музыка?»

Симфоническая – 4,2 процента;
песни – 38,7 процента;
джаз – 28,0 процента;
разная – 43,8 процента.

Сведения такого типа могут служить руководством всем, кто связан с выпуском пластинок или организацией концертов. Если ответственные лица стремятся к финансовой выгоде, то они смело расширят песенный и джазовый репертуар. Если они видят свою задачу в развитии вкуса слушателей к классической музыке, то проведённая анкета подскажет им необходимость развернуть соответствующую пропаганду.

Интерес к статистике мнений о произведениях искусства очень велик. Я могу судить об этом не только по газетным публикациям, но и по письмам, которые получаю от читателей.

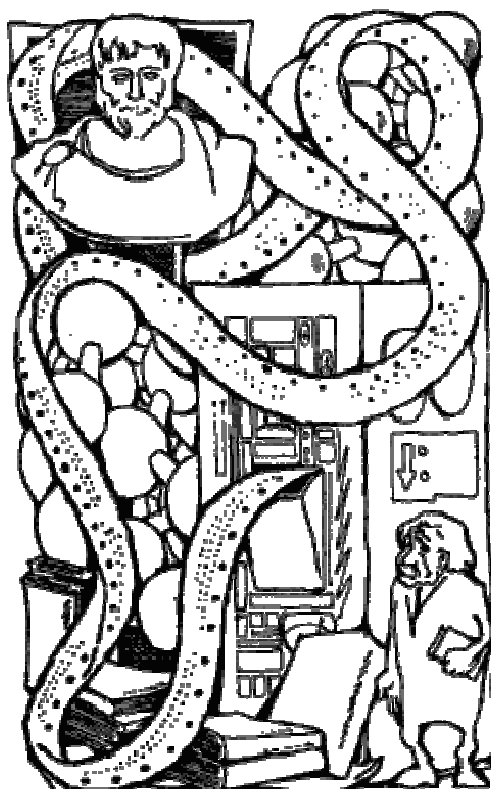
Так, например, превосходное исследование провёл товарищ Н. из города Приозёрска. Он организовал широкий опрос мнения слушателей о 300 песнях. В анкетах предлагалось дать оценку по пятибалльной шкале: высшая оценка – плюс 2, хорошая – плюс 1, равнодушные – 0, плохое отношение – минус 1 и резко отрицательное – минус 2. К интересным результатам этого опроса относятся два вывода. Во-первых, оказалось, что средние мнения обладают очень высокой степенью объективности. По мере роста числа опрашиваемых относительные отклонения от среднего мнения становятся все меньше и меньше. И второй занятный результат: среднее впечатление от всех 300 песен оказалось равным плюс 1,1. Так что наши композиторы и авторы текста работают неплохо. Товарищ Н. не сообщил мне, какие песни получили среднюю отрицательную оценку. Надеюсь, что эти сведения ему удастся обнародовать. Они наверняка окажутся полезными и авторам, и издателям.

Практической пользой не ограничивается роль социологии искусства. К её информации внимательно приглядываются исследователи, желающие получить ответ на вопросы «почему красиво», «почему интересно», «почему нравится». Учёный, интересующийся природой вещей, не удовлетворится тем, что анкетный опрос доказывает объективность эстетической оценки и

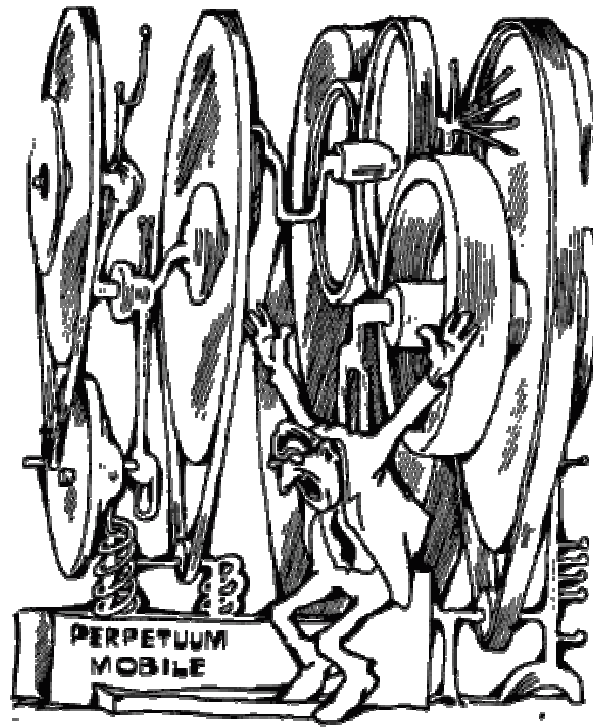
что суждениями хорошо образованных людей можно почти единодушно отличить талантливые произведения от бесталанных. Исследователю красоты хочется найти те линии и цвета, сочетания слов или звуков, которые способны привести в состояние восторга ту или иную группу поклонников искусства. Но ведь ясно, что без хорошо продуманных социологических исследований эстетического вкуса этой задачи не решить.

Две огромные и сложнейшие проблемы – политика художественного воспитания и природа эстетического восприятия – ещё далеки от решения. Обсуждать их на страницах этой книги нет возможности. Наша задача была намного скромней – показать, что методы теории вероятностей и здесь оказываются нужными и полезными.

Часть четвёртая Частицы, из которых построен мир



О природе вещей



Задавать всяческие вопросы, умные и глупые, глубокие и поверхностные, неожиданные и тривиальные, – неотъемлемое качество ума человеческого.

Никаких недоразумений не бывает, если ответы требуют не столько слов, сколько действия. Легко удовлетворить любопытство человека, желающего знать, «из чего построено» или «как устроено». Если речь идёт о приборе, машине, кукле или о бабочке, лежащей на предметном стёклышке, то можно не рассказывать о структуре словами, а просто разобрать на глазах у спрашивающего таинственный предмет на части.

Нет сомнения, что подобные «анатомические» вопросы человек начал задавать на самой заре цивилизации. Но любознательность, конечно, не угасала и в тех случаях, когда получить ответ экспериментальным путём было невозможно. «Эксперимент» кончался на десятых долях миллиметра. Дальше наши предки могли пускать в ход лишь свою фантазию.

Первые ответы на вопрос, «из чего построен мир», дошедшие до нас, родились в Древней Греции более 25 веков назад. Нам эти ответы кажутся донельзя странными. Логику Фалеса, утверждавшего, что все состоит из воды, понять, скажем прямо, трудно. Нелегко поверить Анаксимену, утверждавшему, что все состоит из воздуха, или Гераклиту, который полагал, что мир состоит из огня.

Более поздние любители мудрости (так переводится слово «философ») не поддержали эти слишком элементарные теории и увеличили число первооснов или элементов. Эмпедокл утверждал, что элементов четыре: земля, вода, воздух и огонь. В это учение внёс окончательные (на очень долгие времена) поправки Аристотель.

Согласно Аристотелю, все тела состоят из одного и того же вещества, но это вещество может принимать различные свойства. Невещественных «элементов-свойств» четыре: холод, тепло, влажность и сухость. Соединяясь по два и будучи приданными веществу, «элементы-свойства» Аристотеля образуют элементы Эмпедокла. Так, сухое и холодное вещество даёт землю, сухое и горячее – огонь, влажное и холодное – воду и, наконец, влажное и горячее – воздух.

Ввиду трудности ответа на ряд вопросов философы древности добавили к четырём «элементам-свойствам» ещё «божественную квинтэссенцию: что-то вроде бога-повара, готовящего суп из разнородных „элементов-свойств“». После этого дела пошли лучше, ибо ссылкой на бога нетрудно было разъяснить любое недоумение.

На книжных полках многих библиотек стоит превосходный перевод поэмы Лукреция Кара «О природе вещей». Впрочем, скорее всего на месте этой книги нет, она на руках, так как интерес к поэме Лукреция не увядает. Что же это за поэма? Это эпическое произведение, но воспеваются в нём не подвиги героев-воинов, а гипотезы древнего грека Демокрита о строении

мира из атомов.

Тела только кажутся сплошными, говорится в поэме. Не только газы и жидкости, но и твёрдые тела состоят из мельчайших неделимых частиц – атомов. Каждое тело имеет своего мельчайшего представителя – атом. У разных тел атомы различны, поэтому разные тела и обладают различными свойствами.

Я не так уж твёрдо уверен, что Демокрит и его ранние последователи представляли себе отчётливо коренные различия между своими рассуждениями, таившими в себе элементы научной теории, и рассуждениями, скажем, Фалеса, которые были не чем иным, как лишь игрой слов, ни на йоту не продвигавшую к познанию мира и в лучшем случае обладавшую поэтическим содержанием. Теперь это отличие нам ясно и потому наука с уверенностью прослеживает свои корни до Демокрита.

В чём же это отличие? Основным признаком научной теории является то, что слова и фразы, излагающие её содержание, проверяются опытом, проверяются практикой.

Действительно, отнеситесь серьёзно к тому, что элементы влажности и холода создают воду. Ну и что? Как это проверить? Как опровергнуть, если это неверно, и как подтвердить, если справедливо? Не видно никакой логической линии, которая вела бы нас от не имеющего смысла набора слов: «влажное и холодное дают воду» к каким-либо фактам, которые следовали бы или не следовали из этого детского лепета.

Иначе обстоит дело с атомной гипотезой. Если тело состоит из частичек, то вещества должны легко перемешиваться. Становится понятным, почему запах цветка мы слышим на расстоянии: это «атомы розы» (или лилии) отрываются от цветка и разносятся во все стороны ветром. Вода превращается в пар – это событие также легко объясняется наличием атомов: при нагревании невидимые частички отрываются от поверхности.

Мы предсказали ряд явлений. Протянули логическую ниточку от гипотезы к следствиям. Но... остроумная гипотеза, качественно объясняющая факты, ещё не теория.

Много веков должно было пройти, чтобы блестящая мысль превратилась в научную теорию. В этой части книги мы расскажем о рождении атомной теории и её важнейших следствиях. Разговор об этом совершенно необходим: дело в том, что современная теория атомно-молекулярного строения вещества есть гибрид экспериментальной физики и теории вероятностей.

Рождение теории

При изложении истории науки, да и вообще истории человеческой мысли, приходится всегда делать прыжок этак в столетий пятнадцать. Нас всегда поражает это странное обстоятельство. Длительный пятнадцативековой застой кажется удивительно нелогичным (несмотря на все объяснения о засилье церкви). Так что, прослеживая путь развития идей о строении вещества, мы сразу от Демокрита переходим к французскому мыслителю Пьеру Гассенди. В 1647 году он издал книгу, в которой отрицалось учение Аристотеля и утверждалось, что все вещества в мире состоят из неделимых частиц – атомов. Атомы отличаются друг от друга формой, величиной и весом. Гассенди объяснил, как возникает все богатое разнообразие тел и веществ в природе. Для этого, утверждал он, не нужно думать, что в мире имеется бесчисленное множество сортов атомов. Ведь атомы для веществ – все равно что строительный материал в домах. Как из трех различных видов стройматериалов – кирпичей, досок и брёвен – можно построить самые разнообразные здания, из нескольких десятков различных атомов природа создаёт тысячи разнообразнейших тел. При этом атомы соединяются в небольшие группы, типичные для каждого вида вещества, которые Гассенди назвал «молекулами», то есть «массочками» (от латинского слова «молес» – масса).

Молекулы одних тел отличаются от молекул других видом (сортом) входящих в них атомов и числом их. А если так, то из нескольких десятков сортов атомов можно создать огромное количество различных комбинаций – молекул, определяющих такое великое разнообразие окружающих нас тел. Однако ещё многое во взглядах Гассенди было ошибочно. Так, он считал, что имеются особые атомы для тепла и холода, для вкуса и запаха. Как и другие учёные того времени, он в большой степени находился под влиянием Аристотеля и признавал

его невещественные элементы.

Позже появился М. В. Ломоносов. В сочинениях этого великого просветителя и основателя науки в России содержатся великолепные мысли, получившие потом подтверждение на опыте. Михайло Ломоносов пишет, что молекула может быть однородной и разнородной. В первом случае в ней группируются однородные атомы. Во втором – она состоит из атомов, отличных один от другого. Если какое-либо тело составлено из однородных молекул, то его надо считать простым. Наоборот, если тело состоит из молекул, построенных из различных атомов, оно называется смешанным.

Теперь мы хорошо знаем, что различные тела имеют именно такое строение. В самом деле, возьмём, например, газ кислород; в каждой его молекуле содержится по два одинаковых атома кислорода, и вещество это называется простым. Если же атомы, составляющие молекулы, различны, скажем, в молекулу входит один атом кислорода и два атома водорода, то вещество зовётся «смешанным», или сложным, химическим соединением (вода). Молекулы его состоят из атомов тех химических элементов, которые входят в состав этого соединения.

Можно сказать и иначе – каждое простое вещество построено из атомов одного химического элемента: сложное включает в себя атомы двух и более элементов.

Разумеется, и эти фундаментальные идеи, в общем-то справедливые, не могли быть в то время проверены. И любой мыслитель имел право верить или не верить красивым словам Гассенди и Ломоносова.

В 1738 году петербургский академик Даниил Бернулли вывел уравнение, которое показывало, от каких причин зависит давление газа. Газ при этом рассматривался как система беспорядочно движущихся молекул – шариков.

Если не обращать внимания на форму изложения работы Бернулли, на её стиль, то она окажется вполне современной, современной по манере мышления. Посудите сами. Вот принята некая модель, то есть допускается, что газ – это множество шариков, которые беспорядочно мечутся с какой-то скоростью в сосуде. Молекулы-шарики сталкиваются со стенками, ударяются о них и создают тем самым давление газа. Несложные алгебраические расчёты приводят к уравнению, из которого следует, что давление неизменного количества газа обратно пропорционально объёму. (Я уверен, что вы, дорогие читатели, вспомнили эту фразу. Ну конечно же, это закон Бойля–Мариотта – одно из простейших правил, с которым вы познакомились ещё в школе при изучении физики.) Как видите, чтобы сделать этот вывод, Бернулли обошёлся без теории вероятностей. Но он ясно понимал, что в основе молекулярной физики лежат случайные события. (Может быть, в явной или неявной форме эту идею подсказал ему старший Бернулли.) И, по существу, доказал закон Бойля–Мариотта, пользуясь представлением о беспорядочном движении молекул, подчиняющемся законам случая.

Однако до конца XIX века подобным соображениям не придавали серьёзного значения.

Движение, обнаруженное Броуном

Решающее значение для становления молекулярной теории имели количественные исследования так называемого броуновского движения, проведённые французским исследователем Жаном Перреном. Эти замечательные работы, положившие конец спору «атомников» и их противников, показали, что для понимания молекулярных явлений надо впустить в физику теорию вероятностей. В явлении, исследованном Перреном, как ни в каком другом, наиболее отчётливо проявляются законы случая в мире молекул. Здесь особенно ярко видна аналогия между движением молекулы и броском игральной кости. Познакомимся с открытием шотландского ботаника Броуна, сделанным им в 1827 году.

Джон Броун исследовал поведение в воде пыльцы некоего растения. Так как к этому времени микроскопы были достаточно хороши, то он без труда увидел, как маленькая частичка совершает танцующие движения. Она движется то в одну сторону, то в другую, то останавливается. Одни её движения резкие, а отрезки пути длинные, другие кажутся плавными, так как обрисовывают зигзагообразную последовательность малых отрезков. (Путём пьяницы называют иногда в английской литературе совершенно беспорядочную траекторию броуновского движения частицы.) Броун сначала решил было, что такое поведение свойственно

лишь мужским клеткам растения, которые, возможно, соблазняют женские своим танцем. Но он был внимательным исследователем и, прежде чем сделать такое заключение, решил проверить, как ведут себя в воде неживые органические вещества – кусочки дерева, смолы и пр. Убедившись что и они способны к танцу, он изучил поведение крошек стекла и гранита. В результате терпеливых наблюдений Броуну стал ясен общий характер открытого им явления.



В течение тридцати лет естествоиспытатели не интересовались открытием Броуна. Предполагали, что ничего нового и занятного в работе ботаника нет. Думали что он наблюдал обычный танец частиц, колеблющихся под влиянием слабых течений. В затенённой комнате вы, наверное, не раз видели такой танец пылинок в узком солнечном луче, пробивающемся в комнату сквозь щель или дыру в ставне или портьере.

Кстати, о тридцати годах. Это средний временной интервал между появлением новой идеи и признанием её. Такую закономерность не так давно подметил американский физик Дайсон, анализируя очень большое число открытий прошлых и нынешнего веков.

Итак, прошло тридцать лет. За этот период было доказано, что объяснение броуновского движения концентрационными или тепловыми потоками не годится, так как приводит к бездне противоречий. Прежде всего если бы дело было в потоках, то соседние частички двигались бы в одном направлении. А наблюдения показывают, что две соседние частички ведут себя совершенно независимо – каждая исполняет свой танец под свою музыку. И далее, о каких потоках может идти речь, если явление не зависит от освещённости и атмосферных условий и – это, пожалуй, самое важное – никогда не прекращается!

Французские исследователи показали, что броуновское движение продолжается ночью и днём, происходит в подвалах и на высоких этажах дома, совершается в деревенском домике так же энергично, как и в городском доме, расположенном на улице с интенсивным движением, наконец, частички могут быть любыми, состоять из самых различных веществ.

Все эти особенности броуновского движения, коренным образом противоречащие «теории потоков», указывали на молекулярную природу наблюдаемых явлений и должны рассматриваться как важное доказательство молекулярной гипотезы.

Существовавшие в то время представления о движении молекул (так называемая молекулярно-кинетическая теория) привели Джоуля, Клаузиуса и других замечательных физиков к мысли, что температура вещества прямо пропорциональна средней энергии движения молекул.

Следовательно, чем выше температура тела, тем быстрее движутся молекулы. Броуновское движение тоже убыстряется с температурой. И нам хочется, чтобы между теорией вероятностей и этим фактом была связь. Но связь эта не так уж элементарна. Во всяком случае,

не может быть и речи, о том, что броуновская частичка сдвигается будто от того, что получила щелчок от одной из молекул.

Вероятность – дирижёр движения

Теория броуновского движения была создана Альбертом Эйнштейном в том же году, в котором была опубликована его первая статья по теории относительности.

В качестве образа модели явления, которую обсчитал (прошу прощения – это научный жаргон) Эйнштейн, можно предложить футбольный мяч, залетевший в часы «пик» на центральный рынок страны Лилипутии. «Огромный» мяч мешает базарной сутолоке. Спешащие лилипутяне беспорядочно толкают его во все стороны.

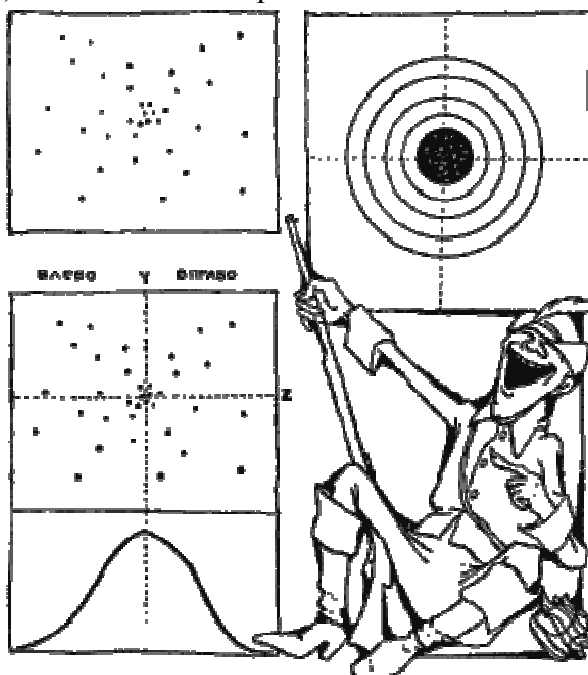
Наглядно представив себе эту фантастическую картину, вы, конечно, согласитесь с тем, что уравнивание молекулярных щелчков, которые получает броуновская частичка, будет несовершенным. Для того чтобы частичка пришла в движение, надо, чтобы перевес ударов, нанесённых с какой-нибудь стороны, превосходил удары, пришедшие на противоположную её сторону. Если частичка очень большая (доли миллиметра – это много в мире молекул), то колебания (физики предпочитают термин «флуктуации») давления на неё «слева» и «справа» будут незначительными и броуновское движение не обнаружит себя. Если же размер частички «подходящий», то случайности в распределении толчков слева и справа, сверху и снизу приведут к легко наблюдаемому её движению.

Если верить в существование молекул, то приведённое истолкование броуновского движения достаточно легко приходит в голову. Качественное объяснение, которое мы привели, в той или иной форме высказывалось рядом исследователей до Эйнштейна.

Но самые умные разговоры о явлении ещё не составляют теории. От теории требуются количественные предсказания.

Что же может и должно быть подсчитано?

За отдельными скачками броуновской частицы следить трудно. Поэтому Эйнштейн поставил перед собой вопрос: какова вероятность найти частичку через одну секунду (или десять секунд или сто секунд) на том или ином расстоянии от исходной точки.



Представьте себе, что имеется лишь одна броуновская частичка и она светится. За частичкой наблюдает фотоаппарат, затвор которого открывается на мгновение через каждую секунду. Съёмка ведётся всё время на одну и ту же пластинку. Через какое-то время пластинка проявляется. На что будет похожа картина, которую мы увидим? Согласно теории Эйнштейна фотография должна совпадать с результатом стрельбы по мишени. Посмотрите на приведённый рисунок. Это не итог стрелковых испытаний, а отчёт об опытном исследовании броуновского

движения. Точки показывают места, где находилась частица в моменты наблюдения.

Трудно придумать более яркое доказательство общности математического основания, на котором покоятся случайности столь разного происхождения. Математик скажет – разве это не доказывает, что молекулярная физика есть глава теории вероятностей. Физик согласится с тем, что пригодились рассуждения об игральном костях.

Можно обработать результаты наблюдений и таким образом, что появится наша хорошая знакомая гауссова кривая.

Наложим на снимок сетку параллельных линий. Одна из линий должна проходить через начальную точку. Теперь сосчитаем число точек, попавших между нулевой и плюс первой линией (плюс – значит вправо), плюс первой и плюс второй и т.д. Такой же подсчёт проведём для левой части снимка. Получили таким способом числа, пропорциональные вероятности отклонения броуновской частицы на разные расстояния вправо и влево от начальной точки.

Можно убедиться в том, что результат подсчёта не зависит от того, как ориентирована сетка, наложенная на снимок, поскольку в танце броуновской частицы (так же, как в ошибках стрелка) все направления отклонения равновероятны.

Остаётся построить график: по горизонтальной оси отложим величины отклонения, а по вертикали – число точек.

Полученная кривая ничем не отличается от гауссовой кривой, на которую ложатся отклонения от среднего роста призывников, отклонения от средней оценки качества фильма «Великолепная семёрка».

Ещё раз повторим: когда речь идёт о поведении случайной величины, математика не нуждается в том, чтобы мы ей сказали, чем интересуемся: физикой, биологией, эстетикой или игрой в карты.

Итак, Эйнштейн получил гауссову кривую для вероятности найти частичку на том или ином расстоянии от начального положения. Центр кривой лежит в исходной точке, то есть вероятнее всего найти частичку там, где она была. Если построить гауссовы кривые для разных промежутков времени, прошедших с начала наблюдения, то мы увидим, что с возрастанием промежутка времени между последовательными снимками положения броуновской частицы кривые будут все более расплывчатыми: через тысячу секунд частичку можно найти почти где угодно. Однако для времени порядка одной секунды кривая будет достаточно узкой.

Главным количественным результатом теории является полученная Эйнштейном формула полуширины кривой. Для данного промежутка времени она однозначно связана с температурой, коэффициентом вязкости и числом Авогадро. (Число Авогадро – это обратная величина массы атома водорода, которая равняется $1,6 \cdot 10$ грамма. Число Авогадро, равное $6 \cdot 10$, имеет, очевидно, смысл числа атомов водорода в одном грамме.) Вид кривой (а значит, и её полуширину) нам даёт опыт; коэффициент вязкости всегда легко измерить; температура опыта известна. Таким образом возникает возможность определить число Авогадро. Если проделать опыты для разных жидкостей, разных температур, разных частиц и показать, что всегда получается одно и то же число, то, конечно, не останется ни одного скептика, который бы упрямо твердил: «Не верю в молекулы».

Нокаутировал скептиков Жан Перрен. Произошло это в 1909 году. Семнадцать лет спустя (большой перерыв, наверное, связан с войной) Перрен получил за эти замечательные исследования высшую награду учёного – Нобелевскую премию.

Прежде чем перейти к подробному описанию экспериментов Перрена, я хочу закончить рассказ об этом частном вопросе забавной деталью: Эйнштейн не знал о существовании броуновского движения. Обдумывая молекулярно-кинетические представления, он сообразил, что взвешенная в жидкости частичка должна быть индикатором теплового движения молекул.

Век нынешний и век минувший

Теперь мне хочется рассказать о том, как трудился Перрен. Готовясь писать эти строки, я отыскал работу Перрена, опубликованную в 1908 году во французских «Анналах физики и химии», и прочитал её с огромным удовольствием и завистью. Хотел бы я заниматься научными исследованиями в то время или, вернее, не в то время, а в той творческой атмосфере.

Очень мне нравится стиль рабочей жизни физика конца XIX и начала XX века.

Статья Перрена занимает 98 страниц. Она написана в спокойной, неторопливой манере. Попробуйте написать сейчас статью размером более 10–12 страниц, и вы увидите недоумение на лице секретаря редакции любого научного журнала. «Вы что, – вскинется он, – открыли ещё одну теорию относительности?.. Все равно укладывайтесь в нормы».

Вот небольшой отрывок из статьи Перрена, характерный для научных журналов того времени:

«Явление броуновского движения можно показать целой аудитории, но эта проекция несколько затруднительна, и я считаю бесполезным подробно остановиться на тех условиях, которые дали мне удовлетворительный результат. Получают изображение электрической дуги (а лучше солнечное изображение), задерживая посредством сосуда с водой большую часть тепловых лучей. Отражённые взвешенными частицами лучи, как и при прямом наблюдении, проходят через объектив иммерсионной системы и окуляр сильного увеличения, горизонтально отклоняются призмой полного внутреннего отражения и дают изображения зёрнышек на экране находящегося перед аудиторией матового стекла (предпочтительнее с расчерченными для большей ясности квадратиками). Таким образом свет лучше используется, чем при обычном экране, рассеивающем большую часть лучей в направлениях, где нет ни одного наблюдателя. Полезное увеличение (линейное) можно довести до 8–10 тысяч.

Особенно тщательным нужно быть с приготовлением эмульсии. В том небольшом числе опытов проектирования картины на экран, которые были до сих пор проделаны, величина диаметра зёрнышек была порядка микрона. Уже на расстоянии трех метров становилось трудным видеть их изображение (по крайней мере это так при освещении электрической дугой), каково бы ни было освещение. С дальнейшим уменьшением размера зёрнышек они становятся менее видными, и мы приходим к парадоксальному на первый взгляд заключению, что лучше проектировать большие, чем малые, зёрнышки. Действительно, броуновское движение крупных зёрнышек менее значительно, но оно остаётся вполне достаточным, чтобы можно было проследить за всеми существенными особенностями явления.

Нужно, следовательно, уметь приготовить частички, размер которых был бы равен нескольким микронам. Мы увидим в дальнейшем, что это было желательным не только для получения проекций, но и для выяснения некоторых пунктов в процессе экспериментального исследования. Я укажу дальше, как мне удалось получить большие совершенно сферические зёрнышки мастики, или гуммигут. С такими зёрнышками при совершенной темноте в зале можно наблюдать броуновское движение на расстоянии 8–10 метров от экрана».

Как член редколлегии научных журналов, могу уверить читателя, что абзац такого рода был бы безжалостно сокращён. Более того, редактор наверняка сказал бы секретарю что-нибудь вроде: «Вы передайте, пожалуйста, этому, как ему, Перрену, чтобы в другой раз он не включал в свои статьи всякие излишние подробности. В конце концов, надо беречь бумагу и время редактора».

Такая реакция имеет простую причину. Редакции давно уже отвыкли от мысли, что научные статьи пишутся авторами для того, чтобы читатель мог бы внимательно проследить за всеми шагами работы автора и повторить её. Они считают, что задача статей – сообщить научному миру, что «это автор уже сделал, а вы делайте что-нибудь другое»; и он, автор, не обязан объяснять в деталях, каким образом получены те или иные результаты. Помощь другим исследователям не входит в задачу современных научных статей. В них должны быть: постановка вопроса, пути решения задачи в общих чертах и более или менее подробно полученные результаты.

Нужно сказать, что в 99 случаях из 100 рассказывать читателям, каким именно способом были добыты результаты современного научного исследования, пожалуй, и правда не стоит. Получаются они стандартными методами и на аппаратуре стоимостью в сотни тысяч рублей, в устройстве которой далеко не всякий автор разбирается. И стоит ли в таком случае описывать и

этот стандартный метод, и эту аппаратуру, на которой уже были получены тысячи подобных результатов? Вот почему право на 98 страниц в журнале не получит сейчас ни один автор. Что же касается вполне оригинальных исследований, то они, увы, могут и потонуть в потоке стандартных статей.

Разный стиль статей 1908-го и нынешних годов отражает совершенно разный стиль работы.

Полистаем статью Перрена. На семи страницах с полным уважением к истории вопроса даётся качественное объяснение броуновского движения на основе молекулярно-кинетической гипотезы. На следующих шестнадцати страницах изложены имевшиеся к тому времени доказательства молекулярно-кинетической гипотезы. В конце этого введения автор рассказывает, почему ему кажется, что исследование броуновского движения может дать серьёзное, если не решающее, подтверждение молекулярно-кинетической гипотезы. Какова, собственно говоря, цель исследования? – спрашивает Перрен. Она состоит в том, чтобы измерить какую-то величину, характеризующую движение молекул.

Но молекулы движутся очень быстро. Промежуток времени, малый с нашей житейской точки зрения, огромен для молекулы. За доли секунды она успеет столкнуться с миллиардами соседей и миллионы раз изменить свою скорость от малой до большой. Но непредставимо большое число перемен равносильно постоянству. Средняя скорость, а вместе с ней и средняя энергия молекулы в данную секунду, в следующую секунду и в любую другую, будет одной и той же. Средняя энергия! Вот она, величина, характеризующая движение молекулы. Но какая-то одна молекула не «лучше» и не «хуже» других, все они в любом веществе находятся в одинаковых условиях, и, значит, неизменны во времени скорость и энергия не только какой-то одной молекулы, но равны между собой и средние кинетические энергии всех молекул. При этом совершенно безразлично, идёт ли речь о чистом веществе, или о смеси, или о жидкости, в которой взвешены частицы эмульсии. Так как крупная частица находится среди молекул, то она «подравнивает» свою среднюю кинетическую энергию к энергии молекул.

Но масса броуновской частицы во много раз превосходит массу молекулы, и потому скорость её много меньше скорости молекул. А как известно, кинетическая энергия любой частицы равна половине произведения массы её на квадрат скорости. Следовательно, если броуновская частица в миллион раз тяжелее молекулы, то её средняя скорость в тысячу раз меньше скорости молекул. Предположив равенство средней кинетической энергии зёрнышка эмульсии и средней кинетической энергии молекулы («Можно не спешить с утверждением этого положения, но гипотеза достаточно вероятна», – говорит Перрен), приходим к заключению, что «измерение движения броуновской частицы равносильно измерению движения молекулы».

Однако точно измерить среднюю энергию движения броуновской частицы тоже не так просто. Скорость взвешенной пылинки практически прямому измерению не поддаётся.

Что же делать?

Образцовое исследование

Если бы прямые измерения движения молекул были возможны, то не нужна была бы молекулярно-кинетическая теория. Это, кстати, относится и к любой области знания: как только появляется нужда во введении в науку каких-то параметров, не поддающихся непосредственной оценке, обязательно нужна теория. Сумей мы измерить этот параметр непосредственно, можно было бы обойтись без теории и жить совершенно спокойно. К этому стремлению – обойтись без теории – мы ещё вернёмся. Сейчас же заметим, что именно по поводу молекулярно-кинетических представлений яростно звенели шпаги представителей двух крайних точек зрения: феноменологистов, требовавших, чтобы из наук было решительно изгнано все, что не поддаётся непосредственному измерению, в том числе и молекулы, и механицистов, полагавших, что можно сформулировать законы движения невидимых частичек и из этих законов вывести все сущее.

Будем следовать тем, кто «верит» в молекулы. Задумаемся над тем, как поставить косвенный опыт, с помощью которого можно доказать «действительность» молекул.

Допустим, нам нужны сведения о средней скорости молекул. Но молекулы не видны. Обращаемся тогда с надеждой на успех к теории. Она же, как мы только видели, предполагает, что средняя энергия броуновской частицы должна равняться средней энергии молекулы. А броуновская частица видна в микроскоп. Значит, достаточно измерить...

И всё же нас ждут опять огорчения – прямой опыт по измерению скорости броуновской частицы так же невозможен, как и молекулы. Что делать? Необходимо ещё раз обратиться к теории и посмотреть, нет ли в ней таких соотношений, в которых с одной части знака равенства ($=$) фигурировала бы нужная нам средняя кинетическая энергия частицы, а с другой – величины, которые достаточно легко измерить непосредственно. Величайший дар хорошего экспериментатора – уметь находить такие соотношения. Отсюда, кстати, следует, что хороший экспериментатор должен хорошо знать и теорию.

Перрен блестяще использовал все возможности, которые представляет броуновское движение частиц эмульсии для нахождения параметров молекулярного движения и для проверки законов молекулярно-кинетической теории.

Рассматривая свою эмульсию в микроскоп с увеличением в 8–10 тысяч раз так, как это описано в длинной цитате, которую мы приводили, Перрен увидел, что плотность зёрнышек убывает с высотой. «Мне пришла в голову мысль, – пишет он, – что зёрнышки эмульсии под влиянием веса должны распределиться как молекулы воздуха в зависимости от высоты». Исследователь описывает, и довольно подробно, что на вершине горы воздух разрежен, а вблизи земной поверхности плотность его максимальна. Такая подробность в изложении этого обстоятельства сначала раздражает, а потом вспоминаешь, что самолётов тогда ведь не было, и читатель Перрена не видел ни разу, как при подъёме вверх движется стрелка альтиметра; эти читатели не были пассажирами Аэрофлота и не ощущали боли в ушах, которая весьма материально свидетельствует о законе изменения давления, а значит, и плотности воздуха с высотой.

Истинно, жизнь полна противоречий. Одни и те же факты могут огорчать и радовать. Только что я завидовал тысяча девятьсот восьмому году, а теперь выражаю полное удовлетворение тем, что приходится иметь дело с современными образованными и квалифицированными читателями: для объяснения им какого-либо явления совсем не приходится тратить много слов и времени.

Польстив читателю, перехожу к факту, который был использован Перреном для измерения средней энергии молекул и числа Авогадро.

Если бы не было теплового движения, то весь воздух лёг бы на поверхность земли, а частички эмульсии в каком-либо сосуде осели бы на дно. При наличии же теплового движения, возникает борьба двух сил: сила тяжести прижимает частицы к земле, а тепловое движение бросает их во все стороны, в том числе и вверх. Несмотря на полную беспорядочность движения, шансов у любой молекулы быть наверху все же меньше, чем быть внизу. Действительно, ударов от боковых, верхних и нижних соседей она получает одинаковое число, а сила тяжести действует только вниз. Поэтому частиц внизу должно быть больше, чем сверху.

Несложными и очень красивыми математическими выкладками можно доказать, что плотность частиц, будь то молекулы воздуха или частицы эмульсии, будет плавно убывать с высотой. При этом проявятся следующие довольно очевидные вещи: чем тяжелее частицы, тем больше их будет прижато к земле. Так в случае молекул воздуха падение плотности прослеживается до десятков километров; что же касается частиц эмульсии, то для них кривая плотности спадает так быстро, что на высоте всего лишь нескольких миллиметров, а то и нескольких микронов, шансы встретить заблудившиеся частицы практически равны нулю. Другое следствие – чем выше температура, тем медленнее спадает плотность – играло для Перрена меньшую роль.

Итак, первая идея опытов Перрена заключалась в следующем: изготовить эмульсию и, рассматривая её при большом увеличении, провести подсчёт зёрнышек, расположенных на разных высотах от дна сосуда. Если все это будет сделано, то станет возможной проверка гипотез, ибо теория имела достаточно простую формулу, которая позволяла вычислить среднюю энергию молекулы из результатов таких измерений, а именно, из отношения концентраций зёрен на двух высотах.

Говорить об этом легко и очень трудно сделать. С непреходящим удовольствием продолжал я читать статью Перрена. Описание того, как приготавливались эмульсии для исследования, воспринимается как художественное произведение с захватывающим сюжетом. Какой огромный объём работы надо было проделать Перрену исключительно своими руками! Для образования взвешенных частичек было перепробовано множество веществ. Особенно подходящим оказался гуммигут, широко используемый художниками для акварели. Но и после отбора нужных веществ было не легче. Надо отделить однородную чистую фракцию от других. На центробежной машине выделить зёрнышки одной массы (а надо помнить, как капризны были в те годы эти машины). Или какого труда стоили аккуратнейшие измерения веса зёрнышек, проделываемые с помощью закона Архимеда; ведь нужно было подбирать такие жидкости, в которых зёрнышки не тонули бы и не всплывали, то есть чтобы плотность жидкости равнялась плотности зёрнышек.



Не менее интересны страницы, посвящённые измерению радиусов зёрнышек. Их значения нужно знать для вычисления энергии молекул, и Перрен для надёжности проделывает эти измерения тремя способами. Совпадение результатов измерений у него было совершенно изумительным: например, одним способом он получил значение, равное 0,212 микрона, другим способом – 0,213 микрона и третьим – 0,211 микрона. Перрен ничего не пишет о времени, которое он тратил на эти работы, но ясно, что только подготовительный этап занял много месяцев.

Как поступил бы исследователь наших дней, вознамерившийся провести опыты по определению числа Авогадро описываемым методом? Наверное, он заказал бы одной фирме приготовление нужной эмульсии, другому учреждению – отбор нужных зёрнышек, третьему – конструкцию микроскопа. Затем приспособил бы электронно-вычислительную машину для подсчёта зёрнышек, а научную статью написал бы в содружестве с пятью-шестью соавторами.

Перрен собрал свою установку сам и приступил (без чьей-либо помощи) к подсчёту зёрнышек. Делать это ему было также не легко.

Приготовив эмульсию, надо было ждать несколько часов, а то и дней, чтобы в эмульсии установилось равновесие и, кроме того, погибли все микробы. (В эмульсию довольно часто попадают протозории – очень активные существа, которые, двигаясь, взбалтывают зёрнышки. Приходится терпеливо ждать, когда они из-за недостатка пищи погибнут и выпадут на дно.) Только тогда можно начать измерения.

Просчитано было им очень много самых разных зёрнышек в самых разных жидкостях и по разной методике. Так, например, зёрнышки гуммигута радиуса 0,212 микрона помещались в ванночку высотой 100 микрон. Измерения делались в четырех горизонтальных слоях, располагавшихся в ванночке на высотах 5 микрон, 35 микрон, 65 микрон и 95 микрон от дна.

Через отверстия, просверлённые в стенке ванночки иглой, было сосчитано до 13 тысяч

зёрнышек. В относительных числах (если принято за 100 число зёрен на нижнем уровне) результаты выглядели так: в нижнем слое 100, в следующем – 47, ещё в следующем – 22,6 и, наконец, в верхнем – 12. Если из этих чисел определить среднюю энергию молекулы, а затем обратным расчётом вычислить числа зёрен на высотах, которые указаны, то получатся числа: 100, 48, 23 и 11,1.

Вряд ли кому-либо сегодня (даже используя современную технику) удастся получить лучшее совпадение теории и опыта. Такое совпадение – а оно было получено в большом числе серий измерений – настолько убедительно, что сомнения в справедливости теории после этого представляются по меньшей мере смешными.

Из этих же данных удалось в превосходном согласии с измерениями другими методами определить и число Авогадро.

Как мы уже говорили выше, в 1906 году вышла в свет работа Эйнштейна, следуя которой можно было провести проверку молекулярно-кинетических воззрений и вычисления числа Авогадро совсем другим путём.

В той же статье Перрен проводит непосредственную проверку формул Эйнштейна. Эта его работа была особенно высоко оценена при присуждении ему Нобелевской премии. Кроме того, им проведено наблюдение за отдельным зёрнышком. На клетчатой бумаге фиксировалось положение этого зёрнышка через равные промежутки времени, сначала через каждые 30 секунд, потом через каждые 60, затем ещё через каждые 120 секунд. Точки, фиксировавшие мгновенные положения броуновской частицы, соединялись прямыми линиями. Характер зигзага был совершенно случайным. Но – так предсказывает теория Эйнштейна – для каждого из опытов, проведённых в одинаковых условиях, будет неизменной средняя длина отрезка, соединяющего два последовательных мгновенных положения. Эта средняя длина прочно связана с интересующими нас параметрами молекулярно-кинетической теории. Когда, используя формулу Эйнштейна, вычислили число Авогадро, то оно оказалось тем же, то есть $6 \cdot 10$.

Предпоследний параграф статьи Перрена назван утверждающе: «Действительность молекул». Первая фраза его звучит так: «Я считаю невозможным, чтобы на ум, освобождённый от предвзятости, крайнее разнообразие явлений, приводящих к одному результату, не оставило сильного впечатления, и я думаю, что отныне трудно было бы разумными доводами отстаивать гипотезы, враждебные признанию молекул».



Вот так работы Перрена, которые мы описали, явились окончательным и бесповоротным приговором противникам молекул.

Броуновское движение при этом сыграло свою коронную роль. Однако значение этого интересного явления, а также теории Эйнштейна не исчерпывается его служебной ролью прокурора в суде над феноменологами.

Оно понадобилось математикам и физикам-теоретикам ещё и как образец идеально беспорядочного движения. Зигзагообразные последовательности прямых отрезков – следы

реальной траектории броуновской частицы – могут быть не только зафиксированы на клеточной бумаге, но и засняты на фотоплёнку. Но беспорядок в движении молекул (частиц) столь идеален (я надеюсь, что читатель уже без противления воспримет утверждение, что идеальным может быть не только порядок, но и беспорядок), что совершенно аналогичный зигзаг можно получить с помощью электронно-вычислительной машины, а если не быть придиричивым, то подбрасыванием монетки. Достаточно условиться, что «герб» будет означать поворот вправо, а «цифра» – влево, и мы можем построить картину случайных отклонений от прямого пути.

Итак, повторим ещё раз: топтание на месте частицы эмульсии сравнивается с чередованием проигрышей и выигрышей игрока в «чёт и нечет». В теории вероятностей такие сопоставления – самый обычный приём. Почти любая задача физики, биологии, техники и т.д., требующая применения теории вероятностей, всегда может быть сформулирована на языке карточной или рулеточной игры либо игры в кости или монету.

Но роль теории вероятностей в молекулярной физике далеко выходит за рамки доказательства движения молекул и нахождения средней скорости молекул. Теория позволяет получить отчётливое представление о характере распределения молекул по скоростям.

О скоростях автомобилей и молекул

Лет шестьдесят назад последний естествоиспытатель отбросил сомнения и поверил в существование молекул. Но зародилась молекулярно-кинетическая теория значительно раньше. Некоторые даже считают, что она старше 2000 лет и ведёт отсчёт от Демокрита. Если же, как говорилось выше, за теорию считать собрание постулатов, следствия которых могут быть количественно проверены на опыте, то началом эры молекулярно-кинетической теории является XIX век. Именно тогда Клаузиус и Джоуль показали, что огромная совокупность явлений становится предсказуемой, если принять, что законы теории вероятностей применимы к частицам, из которых построен мир, и что средняя кинетическая энергия беспорядочного движения молекул пропорциональна температуре.

К моменту, когда Перрен опубликовал свою работу, общие черты теории, представлявшей собой сплав теории вероятностей с молекулярными представлениями (этот сплав и получил название молекулярно-кинетической теории), уже были обрисованы в различных статьях и книгах. И почти все, что писалось в них по этому поводу, оказалось, как мы сейчас покажем, вполне справедливым.

Газ есть скопище молекул – крошечных телец, размером в десятиллионные доли сантиметра. Молекулы движутся беспорядочно, сталкиваясь друг с другом и со стенками сосуда. Эти удары и, как уже говорилось, создают давление газа.

Газ – весьма разреженное состояние вещества. Среднее расстояние между молекулами газа при обычных температуре и давлении раз в 20 больше линейного размера молекулы. Движутся молекулы очень быстро – средние скорости их примерно равны километру в секунду.

Одной из первых задач, которую решила теория вероятностей для молекулярной физики, была задача о распределении молекул по скоростям. Сделал это замечательный английский физик Клерк Максвелл.

Распределение молекул по скоростям может быть представлено (описано) таблицей или кривой. Оно даст нам сведения о том, какая доля молекул обладает той или иной скоростью.

Чтобы изобразить распределение скоростей графически, мы откладываем по горизонтальной оси значения скоростей, а по вертикальной – количество (в процентах) движущихся с этой скоростью молекул. Полученная кривая характеризует, разумеется, мгновенное состояние газа.

Кривая распределения скоростей принадлежит к типу статистических кривых, с которыми мы уже неоднократно сталкивались. Тем не менее у неё есть особенности, заслуживающие внимания.

Положим, речь идёт не о молекулах, а об автомобилях на улице Горького в Москве. Ровно в 12.00 зафиксированы скорости всех автомобилей. Часть их стоит, часть медленно движется со скоростью 10 километров в час, проклиная пассажиров, которые сгрудились на проезжей части

дороги и мешают проезду через перекрёсток. Какие-то машины перемещаются со скоростями 20, 30... 60 километров в час. Процент водителей, нарушающих правила уличного движения и едущих со скоростями 70, 80 и даже 100 километров в час, окажется немалым, особенно подалеке от автоинспекторов. Если посмотреть на этом автодорожном материале график распределения автомобилей по скоростям, то мы увидели бы наверняка, что получилась кривая с максимумом около 40 километров в час, (кстати, с большей средней скоростью днём по Москве и не проехать).

При построении графика скоростей обратите внимание на то, как понимать скорость, равную, скажем, 50 километрам в час. Под ней можно подразумевать все скорости от 45 до 55, если же требуется описать движение поточнее, тогда берут меньший интервал, например от 49 до 51. Точность не может быть беспредельной, и интервал «от – до» всегда молчаливо подразумевается, говорим ли мы о проценте людей, имеющих такой-то рост, о проценте доменных печей такой-то производительности или о таком-то проценте молекул или автомобилей, имеющих такую-то скорость. Впрочем, об этом мы уже говорили.

Без сомнения, распределение скоростей автомобилей подчиняется каким-то закономерностям. Закономерности эти очень сложные, и кривые будут разными для разных улиц, разной погоды, разного времени дня и года.

Что же касается кривой распределения молекул по скоростям, то она обладает тем выдающимся свойством, что зависит только от температуры и от массы молекул. Как выглядит кривая распределения скоростей для молекул заданной массы при данной температуре и что делается с кривой распределения, когда меняется температура, показал Клерк Максвелл.

Очень хотелось бы рассказать, как Максвелл произвёл соответствующее вычисление, показать, что кривая Максвелла сродни гауссовой кривой, и продемонстрировать умение его просто объяснять сложные вещи. Однако воздержимся. Во-первых, это увело бы нас в сторону от темы нашей беседы и исказило бы гармонические пропорции книги, которые мы стремимся ей придать. Во-вторых, педагогический опыт подсказывает, что лишь небольшой процент читателей любит долго и упорно следовать за разматыванием логической нити научного открытия.

Но о результатах этого вычисления поговорить надо. Как должна выглядеть кривая, достаточно очевидно. Как и в случае с автомобилями, имеется небольшой процент молекул, движущихся очень быстро (они подверглись случайно серии попутных ударов); есть небольшой процент почти покоящихся молекул (они замедлились лобовыми ударами соседей); и больше всего будет молекул, имеющих скорость, близкую к средней. Почему близкую, а не равную? Здесь есть одна интересная тонкость.

Максимум кривой распределения попадает на то значение, которое встречается наиболее часто. Совпадает ли среднее значение с наиболее часто встречающимся, то есть с наиболее вероятным значением? Да, но только в тех случаях, когда отклонения «влево» и «вправо» одинаково вероятны. А это, конечно, будет не всегда.

Случай кривой распределения молекул по скоростям в этом отношении вполне ясен. От вершины кривой «влево» мы можем двигаться лишь до нуля. В сторону же больших скоростей (вправо) можно двигаться неограниченно далеко, по крайней мере в принципе. Кривая Максвелла получается несимметричной, и точные подсчёты показывают, что средняя скорость больше наиболее вероятной именно по той причине, что хвост кривой «вправо» тянется дальше, чем «влево».

Самым замечательным обстоятельством во всём этом деле является то, что кривая распределения молекул по скоростям при определённой температуре для данного газа остаётся всё время неизменной. Сказанное вовсе не самоочевидно. Что значит неизменность кривой? Это означает то, что доля молекул, обладающих определённой скоростью, всё время остаётся неизменной. А почему, собственно говоря, так должно быть? Ведь мы же говорим о полном хаосе, о полном беспорядке в движении молекул. Почему нельзя представить себе, что случайно в какое-то мгновение все молекулы замедлились, или случайно остановились, в другой момент все убыстрились и движутся со скоростями, лежащими между одним и двумя километрами в секунду?



Представить можно. Но дело в том, что все события такого рода обладают настолько ничтожной вероятностью, что мы вправе считать их абсолютно невозможными.

В работе Максвелла рассчитывается, конечно, среднее число молекул, обладающих какой-либо одной скоростью. Колебания около средних цифр – в науке это называется флуктуацией, – разумеется, существуют. Однако они настолько малы, что в обычном опыте обнаружить их невозможно.

Почему же, несмотря на беспорядочность движения, доля молекул, обладающих какой-либо одной скоростью (например, от 500 до 501 метра в секунду) практически неизменна? Отвечает на этот вопрос закон больших чисел. Всё дело в том, что для газа, находящегося в нормальных условиях, среднее число этих молекул (то есть обладающих скоростью от 500 до 501 м/сек) огромно и в одном кубическом сантиметре их число измеряется единицей с шестнадцатью нулями (10). Согласно же закону больших чисел отклонения от среднего будут обратно пропорциональны корню квадратному ($1/\sqrt{10}=10$) из числа молекул. Так что флуктуации измеряются стомиллионными долями даже для такого узкого интервала скоростей, как один метр в секунду (501–500). Это и значит, что кривая Максвелла остаётся неизменной.

Огромное число молекул, содержащееся в крошечном по сравнению с размерами физических приборов объёме, приводит к тому, что все физические свойства вещества имеют практически неизменные значения при постоянных условиях.

Роль этого обстоятельства фундаментальна. Жизнедеятельность любого существа возможна лишь при условии, что размеры его органов восприятия внешнего мира в колоссальное число раз превосходят размеры молекул. Так что огромное число молекул, образующих тела, есть неперенное условие жизни. Предположите существование организма, всего лишь в сто раз превосходящего по своим размерам молекулу газа. Сразу же ясно, что такое предположение абсурдно. Действительно, для выдуманной нами «микроамебы» были бы существенными флуктуации плотности, температуры, давления в объёме, занятом сотней молекул. Флуктуации в этом случае равны 10 процентам ($1/\sqrt{100}=1/10$). А как мы знаем (сравните, пожалуйста, стр. 74 [ссылка]), отдельные отклонения могут достигать величины в три-четыре раза большей. Значит, «микроамебе» пришлось бы приспосабливаться к жизни в условиях, соответствующих непрерывному случайному колебанию температуры и давления в пределах ± 30 –40 процентов. Попробуйте существовать, если температура скачет каждую секунду примерно от -100 градусов до +100! А наша «микроамеба» так же воспринимала бы удары всего лишь нескольких быстрых молекул.

Мы с вами живём в мире, где в одном кубическом сантиметре воздуха находится свыше 10 молекул. Поэтому не только наши органы чувств, но и отдельные клетки, из которых они построены, состоят из миллиардов атомов.

Восприятия мира живым организмом обязаны сумме огромного числа случайных событий. И посему для нас с вами окружающая среда кажется неизменной: флуктуаций мы не замечаем. Так закон больших чисел превращает случайное в необходимое.

Новые подходы

Теория и опыт дружно шли рука об руку. Большие успехи были достигнуты благодаря новому подходу, главная идея которого такова: нет смысла обсуждать характер движения отдельной молекулы иначе как на языке теории вероятностей.

Первоначально казалось, что вероятностный подход к молекулярным явлениям – это вынужденная и неприципиальная уступка практическим обстоятельствам.

– Конечно, – рассуждали математики и физики, – если бы мы знали в какое-то мгновение координаты всех молекул и их скорости, то могли бы предсказать судьбу мира.

– Каким образом?

– В принципе очень просто. Надо составить для каждой молекулы дифференциальное уравнение движения и затем решить эту систему.

– Простите. А сколько будет таких уравнений?

– Миллиард миллиардов или что-нибудь в этом роде.

– Но сколько потребуется?..

– Да, да, конечно, это невозможно, очень много времени потребуется. Но важно знать, что в принципе такая задача выполнима.

В XX веке подобная позиция кажется крайне наивной. Почему надо бояться признания случайности индивидуальных событий, из которых складывается наблюдаемое явление? Скорее всего это боязнь предоставить, так сказать, природе волю: вдруг она перестанет слушаться законов. Но страхи эти совершенно пустые.

Наличие в природе случайных событий ни в коей мере не означает, что у неё есть какая-то возможность выйти из подчинения законам.

Прогресс молекулярной физики приносил всё время подтверждение этому принципу и в то же время ставил под сомнение строгий механический детерминизм. Действительно, что толку в возможности предсказать поведение мира в «принципе», если это практически неосуществимо. Представьте, что из миллиарда миллиардов молекул вы не знаете координаты лишь одной из них. Этого мизерного незнания достаточно, чтобы вся предопределённость в поведении системы полетела бы вверх тормашками.

Таким образом, вероятностный подход – это не подсвечник, которым забивают гвоздь в отсутствие молотка, а новый великолепный инструмент, позволяющий выполнять главную задачу науки – предсказывать факты и при этом не требующий невозможной детализации молекулярного явления. Такой подход – не паллиативная мера, а единственно правильный выход из положения.

Непонимание неизбежности вероятностного описания сложных событий лежит в основе множества заблуждений. Приняв необходимость такой перестройки во взглядах, любой неформально мыслящий человек мог бы найти выход из «парадокса свободы воли», мучившего философов многие века.

Разумеется, утверждение, что все предопределено внешними условиями, вашими знаниями и разумом, справедливо. Однако мозг человека и его нервная система – машины исключительной сложности. И практически невозможно перечислить все факторы, из которых должно выкристаллизироваться его решение о том или ином действии. Достаточно упустить пустяк, чтобы воля оказалась практически свободной, а человек – ответственным за свои поступки.

Есть классы явлений, где наука отказывается (считает бессмысленным) делать предсказание единичного события. Я не могу сказать, под каким углом отправится путешествовать электрон, прошедший через отверстие пушки кинескопа. Я не могу сказать, куда отклонится (вправо или влево) в данный момент под ударами молекул дрожащее лёгкое крылышко, подвешенное в сосуде с сильно разреженным газом. Я не могу сказать, в какую точку земной поверхности упадёт листок, сорванный ветром с дерева. Я не могу сказать, сработает ли сейчас условный рефлекс, выработанный у собаки. Я не могу сказать, как среагирует на оскорбление именно этот юноша. Я не могу сказать, понравится ли картина Пикассо вот этой девушке... Однако это совсем не значит, что речь идёт о незакономерных

явлениях.

Про один электрон я ничего не могу сказать заранее. Но про миллиарды миллиардов могу. Я сумею предсказать, какая доля электронов под каким углом отклонится при выходе из отверстия. Я могу предложить формулу, которая предскажет среднюю амплитуду колебания крылышка в газе. На основании экспериментальных исследований воздушных потоков я вычислю, как уляжется лиственный покров. На основе наблюдений за собакой я сумею предсказать долю положительных её реакций на раздражитель. Этические и эстетические ценности у каждого человека свои и зависят от его характера и воспитания. Но если я опрошу тысячи юношей и девушек, исследую их вкусы и поведение как функцию воспитания, то достаточно смело предскажу процент юношей, которые не стерпят оскорбления, и долю девушек, которым будут нравиться картины Пикассо.

Цель нашей книги – мы не раз это подчёркивали – показать всеобъемлющее значение метода исследования, использующего теорию вероятностей. Но в мире молекул вероятностный подход приобретает исключительное значение из-за того, что в обычных условиях отклонения от средних величин (флуктуации) ничтожно малы.

«Но флуктуации все же есть! – вправе возразить читатель. – Пусть они малы, но почему нельзя допустить взрыв парового котла из-за флуктуации плотности? В какой-то момент двинулись все молекулы в одну сторону, и готово. Вот вам и чудесный случай, сводящий на нет все предсказания науки».

Но не взлетают котлы на воздух без вполне реальной причины. И случайности в поведении молекул не приводят к непредсказуемому поведению вещей. Колебания давления, плотности, температуры, энергии и любых других величин, которые происходят из-за хаотичности движения молекул или, как говорят, благодаря флуктуациям, слишком ничтожны, чтобы породить чудо.

Оценим вероятность совершенно пустяковой флуктуации плотности газообразного вещества. Мысленно разделим сосуд с газом на миллиард ячеек. Теперь посчитаем, какова вероятность такого события, как удаление всех молекул из одной из этих ячеек.

Вероятность отклонения от равномерного распределения плотности подсчитывается без труда. Вероятность того, что одна молекула находится там, где нам хочется, равна 0,999999999. А вероятность нахождения во всех ячейках, кроме одной, всех N молекул будет равна 0,999999999. На первый взгляд может показаться, что это число близкое к единице. Но не надо забывать, что речь идёт об огромном числе молекул. Пусть их в сосуде всего лишь 10. Простая арифметика показывает, что искомая вероятность будет равна 10 в степени $(-4 \cdot 10)$, то есть единице, поделённой на единицу с сорока миллиардами нулей ($P = 1/(4 \cdot 10)$).

Комментарии, как говорится, излишни.

Именно благодаря тому, что вещи, с которыми мы имеем дело в жизни, построены из невообразимо большого числа молекул, они не могут преподнести нам никаких вероятностных сюрпризов.

Новый подход привёл к созданию важнейшего раздела физики: родилась статистическая физика, переписавшая на языке молекул и вероятностей всю термодинамику (учение о тепле) и проложившая неожиданные мостики между явлениями, которые, как казалось ранее, не имели между собой ничего общего.

Поговорим подробнее об этих важнейших приложениях теории вероятностей.

Энергия сохраняется

Закон сохранения энергии вряд ли можно рассматривать как чисто опытное правило. В законе содержатся два утверждения: первое – энергию нельзя получить из ничего, и второе – энергия не может бесследно пропасть.

Первая половина этого утверждения известна как закон невозможности вечного двигателя (перпетуум-мобиле).

Уже давно человечество пришло к досадному заключению, что создание двигателя, который ничем не питается, вещь невозможная. Да и человеческой психологии представляется весьма естественным положение, что «без труда не выловишь и рыбку из пруда». Поэтому

осуществление вечного двигателя представлялось научным деятелям средних веков задачей столь же божественной, как и изобретение философского камня или живой воды.

Однако многие наши научные предшественники не рассуждали согласно логике XX века. Признавая, что получение энергии из ничего противоречит всему, чему учит жизнь, они тем не менее отважно пускались на поиск вечного движения.

Об осуществлении перпетуум-мобиле мечтает Бертольд, герой «Сцен из рыцарских времён» Пушкина. «Что такое перпетуум-мобиле?» – спрашивает его собеседник. «Это вечное движение, – отвечает тот. – Если найду вечное движение, то я не вижу границ творчеству человека. Делать золото – задача заманчивая, открытие может быть любопытное, выгодное, но найти разрешение перпетуум-мобиле...»

Вечный двигатель – это машина, которая должна не только преодолевать неизбежно возникающие силы трения, но и вращать колеса или поднимать грузы снизу вверх. Работа эта должна происходить вечно и непрерывно, а двигатель не должен требовать ни топлива, ни рук человеческих, ни энергии падающей воды – словом, ничего взятого извне.

Первый в истории, дошедший до наших дней, достоверный документ об «осуществлении» идеи вечного двигателя относится к XIII веку. Любопытно, что спустя шесть веков, в 1910 году, в одно из московских научных учреждений был представлен на «рассмотрение» «проект» буквально такого же двигателя. Мы помещаем его изображение на этой странице и думаем, что многие с ним знакомы. При вращении колеса грузы перекидываются вправо и поддерживают, по мысли изобретателя, тем самым движение, так как откинувшиеся грузы давят гораздо сильнее, действуя на более далёком от оси расстоянии (большее плечо). Построив эту отнюдь не сложную «машину», изобретатель убеждается, что, повернувшись по инерции на один или два оборота, колесо останавливается. Но это не приводит его в уныние. Он думает, что где-то допущена ошибка и достаточно удлинить рычаги или изменить форму выступов, как машина заработает. И бесплодная работа, которой многие доморощенные изобретатели посвящали всю свою жизнь, продолжается, но, разумеется, с тем же успехом.



Вариантов вечных двигателей предлагают в общем немного: разнообразные самодвижущиеся колеса, в принципе не отличающиеся от описанного; гидравлические двигатели, использующие сифоны, капиллярные трубки или потерю веса в воде; притяжение железных тел магнитами – вот, по сути дела, и все. Далекое не всегда, правда, можно было догадаться, за счёт чего же должно происходить вечное движение.

Ещё до установления закона сохранения энергии утверждение о невозможности перпетуум-мобиле мы находим в официальном заявлении Французской академии, сделанном в 1755 году. На своём заседании «бессмертные» решили не принимать больше для рассмотрения и испытания никакие проекты вечных двигателей.

Многие механики XVII–XVIII веков уже клали в основу своих рассуждений аксиому о невозможности перпетуум-мобиле, несмотря на то, что понятие энергии и закон сохранения энергии вошли в науку много позже.

Таким образом, можно сказать, что та часть закона сохранения энергии, которая относится к возникновению энергии, носит эмпирический характер.

Иначе обстоит дело со второй половиной закона, утверждающей, что энергия не пропадает... Откуда это видно? Совсем наоборот. Закрутили рукой колесо, руку отняли – остановится. Кием наподдали бильярдный шар – через две-три секунды его энергия исчезла. Вот вы сняли с плиты чайник. Весело подпрыгивающая крышка постепенно успокаивается, струя идущего из носика пара слабеет и прекращается вовсе, а ещё через час даже нельзя сказать, что чайник недавно кипел. Куда делась энергия?

На все эти вопросы отвечают – энергия рассеялась. Но чем эта фраза лучше утверждения – энергия исчезла?

Понять, куда девается энергия, можно лишь в том случае, если допустить, что весь мир построен из мельчайших движущихся частичек – молекул и атомов. Только на этом пути надо искать опытные подтверждения сохранения энергии.

Тщательные наблюдения показывают, что потеря механической энергии сопровождается большей частью нагреванием окружающих предметов.

Переверните велосипед колёсами кверху. Раскрутите педалями заднее колесо. Подшипники у велосипеда превосходные, и колесо будет вращаться долго. Но в конце концов оно остановится. Если я вам скажу, что в результате пропажи механической энергии колеса нагрелись воздух и подшипник, то вы можете мне не поверить (нагрев незначительный). Но попробуйте остановить колесо рукой. Осторожней, а то обожжёте ладонь. Теперь вы в полном смысле снова «ощутили» переход механической энергии в тепло. Как же этот простой факт спасает закон сохранения? Очень просто. Чем выше температура тела, тем быстрее движутся частички. Следовательно, повышение температуры (руки, воздуха, подшипников) говорит об увеличении энергии движения молекул. Значит, видимая пропажа механической энергии, то есть энергии движения больших тел, сопровождающаяся нагревом, есть не что иное, как превращение энергии движения больших тел в энергию движения частичек.

Как проверить эту гипотезу?

Прежде всего надо найти общую меру механической энергии и внутренней тепловой энергии или, что то же самое, общую меру работы и тепла.

Первый опыт для установления количественного соотношения между теплом и работой был проделан известным физиком Румфордом (1768–1814 гг.). Он работал на оружейном заводе, где изготовляли пушки. Когда сверлили канал ствола орудия, то выделялось тепло. Как оценить его? Что принять за меру тепла? Румфорду пришло в голову поставить работу, производимую при сверлении, в связь с нагреванием того или иного количества воды, идущей на охлаждение ствола, на то или иное число градусов.

Для этого, конечно, надо проводить сверление в воде. Сопоставляя величину произведённой (пропавшей) работы с количеством возникшего тепла (произведение массы воды на приrost температуры), можно прийти к заключению, что исчезновение механической энергии сопровождается появлением пропорционального количества теплоты. Подобными опытами и была найдена общая мера тепла и работы.

Первоначальное определение так называемого механического эквивалента теплоты дал французский физик Сади Карно. Этот выдающийся исследователь скончался в 36-летнем возрасте в 1832 году и оставил после себя рукопись, которая была опубликована лишь спустя 50 лет. Открытие Карно оставалось неизвестным и не повлияло на развитие науки. А он весьма строго установил, что подъем одного кубического метра воды (1 тонна) на высоту одного метра требует такой же энергии, какая нужна для нагревания одного килограмма воды на 2,7 градуса (точнее, 2,3 градуса).

В 1842 году публикует свою первую работу гейльброннский врач Юлиус Роберт Майер. Хотя Майер называет знакомые нам физические понятия совсем по-другому, все же внимательное чтение его работы приводит к выводу, что в ней изложены существенные черты закона сохранения энергии. Майер различает внутреннюю энергию (тепловую), потенциальную

энергию тяготения и энергию движения тепла. Он пытается чисто умозрительно вывести обязательность сохранения энергии при различных превращениях. Чтобы проверить это утверждение на опыте, надо иметь общую меру для измерения этих энергий. Майер вычисляет, что нагревание килограмма воды на один градус равноценно поднятию одного килограмма на 365 метров.

Во второй своей работе, опубликованной три года спустя, Майер отмечает универсальность закона сохранения энергии – возможность применения его в химии, биологии и космических явлениях. К различным формам энергии Майер добавляет магнитную, электрическую и химическую.

Большая заслуга в открытии закона сохранения энергии принадлежит замечательному английскому физическому пивовару из Сальфорда в Англии) Джемсу Прескотту Джоулю, работавшему независимо от Майера.

Если Майер полагает, что законы природы могут быть выведены путём одних рассуждений (гегелевский подход к миру, типичный для немецкой идеалистической философии того времени), то основной чертой Джоуля является строгий экспериментальный подход к явлениям. Джоуль задаёт природе вопрос и получает на него ответ путём глубоко продуманных, целеустремлённых опытов. Нет сомнения, что при их проведении он одержим одной идеей – найти общую меру тепловых, химических, электрических и механических действий, показать, что во всех этих явлениях энергия сохраняется. Джоуль сформулировал свою мысль так: «В природе не происходит уничтожения силы, производящей работу, без соответствующего действия».

Первая работа Джоуля докладывалась им 24 января 1843 года, а 21 августа того же года Джоуль доложил свои результаты по установлению общей меры тепла и работы. Нагревание килограмма воды на один градус оказалось равноценным подъёму одного килограмма на 460 метров.

В последующие годы Джоуль затрачивает много труда на то, чтобы уточнить значение и доказать полную универсальность теплового эквивалента. К концу 40-х годов становится ясно, что количество возникающей теплоты будет пропорционально количеству затраченной работы всегда – вне зависимости от способа перехода работы в тепло.

В том же XIX веке было установлено, что нельзя «бесплатно» расплавить кусок льда. Впервые был осуществлён опыт, ставший впоследствии классическим школьным и который можно повторить в любое мгновение. Попробуем его описать. Возьмите несколько кусочков льда из холодильника и бросьте их в стакан, вставьте в ледяное крошево термометр и всю эту «экспериментальную установку» водрузите на плиту. Результат опыта неизменен: пока лёд не растает, градусник будет показывать всё время ноль градусов. Итак, энергия потрачена (газ сгорел), но она не нагрела, не возбудила движение. Куда же она девалась?

До сих пор, говоря об энергии молекул, мы подразумевали только энергию их движения. Но механическая энергия тел бывает двух сортов: энергия движения (кинетическая) и энергия, определяющаяся взаимодействием этого тела с Землёй или соседними телами, так называемая потенциальная энергия.

Камень на высокой горе обладает большей потенциальной энергией, чем тот же камень, лежащий на вершине холмика. Два шарика, сжатые мягкой пружиной, обладают меньшей энергией, чем два шарика, сжатые жёсткой пружиной (если эти шарики освободить от связи, они разлетятся с большей скоростью). Вполне естественно распространить ту же идею на молекулы и предположить: чем сильнее связаны молекулы, тем больше внутренняя потенциальная энергия тела. Чтобы всё стало понятно в опыте со льдом, надо лишь принять, что в твёрдом льде молекулы связаны друг с другом сильнее, чем в жидкой воде. Нагрев без повышения температуры означает, что энергия, затраченная на плавление, ушла на замену сильных связей более слабыми. Впрочем, если продолжать греть воду, нагревая, превратить её в пар, то, подсчитав суммарные расходы, можно сказать, сколько энергии потребовалось на полное разрушение связей между молекулами.



Обоснование закона сохранения энергии на этом позвольте закончить. Мы утверждали, что видимые пропажи энергии – это на самом деле переходы её во внутреннюю энергию тела. Если же рассматривать все молекулы в каком-нибудь замкнутом объёме (замкнутая система), то для него закон сохранения будет звучать так: суммарная механическая энергия молекул не меняется. Впервые закон сохранения в таком виде был сформулирован Германом Гельмгольцем на заседании Берлинского физического общества 23 июля 1847 года.

Переход механической энергии во внутреннюю энергию тела – типичный случайный процесс. Бессмысленно спрашивать, как изменились положение или скорость какой-то определённой молекулы в результате такого перехода. Грамотная постановка вопроса такова: чему равна вероятность того, что молекула сдвинется со своего места на такое-то расстояние, или изменит свою скорость на столько-то процентов, или разорвёт свою связь с соседками.

Глубокое понимание превращения энергии невозможно без использования теории вероятностей.

Далеко не всегда закон сохранения можно проверить. Попробуй, например, докажи на опыте, что энергия остаётся неизменной во время замедленного движения катящегося по бильярдному сукну шара. Однако число случаев, когда в самых сложнейших явлениях баланс затрат и доходов сходится «до копейки», столь велико, что вера в универсальную справедливость закона является категорической у всех естествоиспытателей. Без сомнения, эта вера не подвергалась бы сомнениям, если бы не молекулярно-кинетическое обоснование закона. В свою очередь, молекулярно-кинетическая гипотеза перестала быть гипотезой, а стала фактом лишь после исследования броуновского движения. А что касается броуновского движения, то его анализ был бы невозможен без привлечения вероятностных соображений.

Так что же, дорога от игры в «орёл» и «решку» ведёт к закону сохранения энергии?

Без сомнения. И это не так уж удивительно. Мало найдётся областей знания, к которым не тянутся нити, и не только нити, но и канаты, от идеи вероятности.

Самый трудный параграф

Человеку нужны машины, а чтобы они работали, надо уметь создавать движение – двигать поршни, вращать колеса, тянуть вагоны поезда. Движение машин требует работы. Как получить её?

Казалось бы, вопрос ясен: работа происходит за счёт энергии. Надо отнять у тела или системы тел энергию – тогда получится работа.

Рецепт вполне правилен. Но как совершить такое превращение? Всегда ли возможно отобрать энергию у тела? Какие для этого нужны условия?

Мы сейчас увидим, что почти вся энергия, имеющаяся вокруг нас, совершенно бесполезна: она не может быть превращена в работу, и её никак нельзя причислить к нашим энергетическим запасам. Разберёмся в этом.

Отклонённый от положения равновесия маятник рано или поздно остановится; раскрученное рукой колесо перевернутого велосипеда сделает много оборотов, но в конце концов тоже прекратит движение. Нет никакого исключения из важного закона: все окружающие нас тела, приведённые в движение каким-либо толчком, в конце концов останавливаются.

Если имеется два тела, нагретое и холодное, то тепло будет передаваться от первого ко второму до тех пор, пока температура не уравнивается. Тогда теплопередача прекратится, и состояния тел перестанут изменяться: установится тепловое равновесие.

Нет такого явления, при котором тела самопроизвольно выходили бы из состояния равновесия. Не может быть такого случая, чтобы колесо, сидящее на оси, начало бы вертеться само по себе. Не бывает и так, чтобы нагрелась сама по себе кастрюля с водой, поставленная на холодную, незажженную плиту.

Стремление к равновесию означает, что у событий имеется естественный ход: тепло переходит от горячего тела к холодному, но не может самопроизвольно перейти от холодного к горячему.

Механическая энергия колеблющегося маятника благодаря сопротивлению воздуха и трению в подвесе перейдёт в тепло. Однако ни при каких условиях маятник не начнёт раскачиваться за счёт тепла, имеющегося в окружающей среде.

Тела приходят в состояние равновесия, но выйти из него не могут.

Этот важнейший закон природы (его называют вторым началом термодинамики) сразу же показывает, какая часть находящейся вокруг нас энергии совершенно бесполезна. Ею оказывается тепловое движение молекул тех тел, которые находятся в состоянии равновесия. Такие тела не способны превратить свою энергию в механическое движение.

«Мёртвая» часть энергии огромна. Если понизить температуру килограмма земной породы на один градус, то он, имеющий теплоёмкость 0,2 ккал/кг, потеряет 0,2 большой калории. Это относительно небольшая величина. Однако прикинем, какую энергию мы получили бы, если бы удалось охладить на тот же один градус весь земной шар, масса которого равна 6·10килограммов. Умножая, мы получим 1,2·10больших калорий. А это баснословная энергия: в настоящее время электроэнергия, вырабатываемая ежегодно электростанциями всего мира, равна 10–10больших калорий, то есть в миллиард раз меньше.

Примирившись с тем, что нельзя предложить двигатель, создающий работу из ничего (так называемый вечный двигатель первого рода), и воодушевившись грандиозными числами, которые мы только что привели, горе-изобретатели взялись за конструирование двигателей, работающих за счёт одного лишь охлаждения среды (так называемый вечный двигатель второго рода). Однако если водитель транспорта проехал на красный свет даже при минимальной скорости, ему не оправдаться тем, что он ехал с допустимой скоростью в 30 километров в час. Подчиняться надо обоим правилам.

То же относится и к конструкторам двигателей, которые попытались бы защитить своё создание ссылкой на то, что их идеи не противоречат закону сохранения энергии.

Этого мало! Утверждение, что система тел, находящихся при одной температуре, энергетически бесплодна, есть также закон природы.

Итак, для получения работы (то есть отнятия энергии) необходимо прежде всего нарушить тепловой покой. Для этого надо, в свою очередь, затратить энергию. Только тогда удастся осуществить процесс перехода тепла от одного тела к другому или превращения тепла в механическую энергию.

Создание потока энергии – вот необходимое условие получения работы. На «пути» этого потока возможно превращение энергии тел в работу.

Поэтому к энергетическим запасам, полезным для людей, относится энергия лишь «неуспокоившихся» тел.

Второе начало термодинамики, сущность которого мы изложили, фиксирует факты. Но каков внутренний смысл этого закона? Почему вся вселенная – это дорога к равновесному состоянию? Почему предоставленные самим себе тела неотвратимо приближаются к состоянию, когда механическое движение прекращается, а температуры тел уравниваются?

Вопрос этот очень важен и интересен. Кроме того, он труден, но мы подготовлены к

ответу на него. Дело заключается в том, что равновесное состояние является наиболее вероятным.

Нам придётся потратить одну-две странички на объяснение этой мысли. Прежде всего о самом слове «состояние». Оно употребляется в физике в двух смыслах. А чтобы между ними не путаться, введём два термина, которые несколько некрасивые и громоздки, но, что поделаешь, зато научные и общепринятые. Итак, надо различать макросостояния тел и их микросостояния.

Термин «макросостояние» совпадает с житейским словом. Помните обычный утренний обмен фразами доктора и сестры в больнице?

– Каково состояние больного? – спрашивает врач.

– Без изменения, – отвечает сиделка, – температура та же, давление и пульс те же самые.

Макросостояние газа, жидкости или твёрдого тела характеризуются также в первую очередь температурой и давлением. Но, разумеется, теперь речь идёт не о давлении крови, а о давлении, которое на тело оказывает окружение. Давление и температура – основные показатели, говорят – параметры, состояния. Если давление и температура не меняются, то с телом ничего не происходит, все свойства его сохраняются.

Другой подход необходим, если речь идёт не о газе в баллоне, не о жидкости в сосуде и не о куске твёрдого тела, а о механической системе: машине, состоящей из множества рычагов и шестерёнок, теперь макросостояние будет описано, если указать взаимное расположение частей механизма, а также скорости, с которыми эти части движутся.

Приходится, как видим, и в макросостояниях различать два вида состояний – термодинамическое и механическое. И описываются они разными параметрами.

До того как молекулы вышли на сцену, эти два варианта описания казались совершенно не связанными. Относились они к разным случаям: одно к покоящейся жидкости или газу, другое – к механическим устройствам и ничего общего друг с другом не имели. Параметры, употребительные в термодинамике, – это давление и температура, механические параметры – это координаты и скорости. И одно к другому никогда не сводилось.

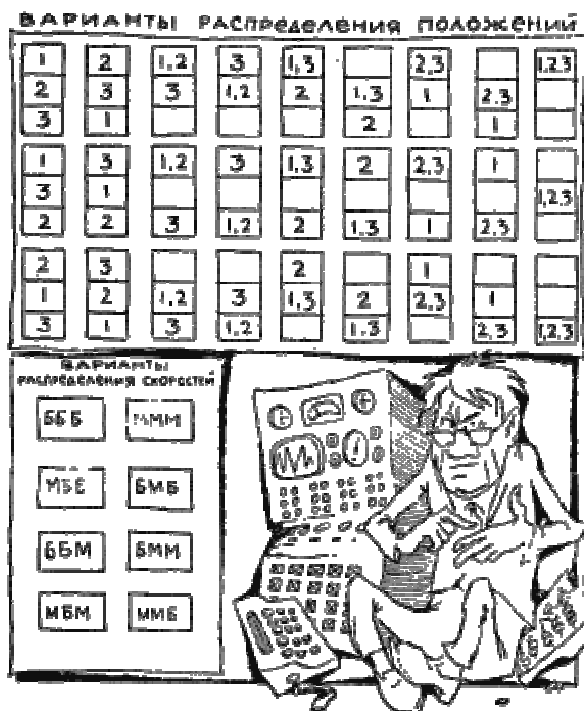
Перевод термодинамики на молекулярный язык сразу же выявил наличие мостика между этими двумя описаниями. С точки зрения молекулярной гипотезы всякое тело есть система взаимодействующих молекул, то есть не что иное, как механическая система, нечто вроде рычагов и шестерёнок. А состояние такой системы задаётся, как мы только что видели, взаимным расположением и скоростями её частей – в нашем случае молекул. Что же, оказывается, дело обстоит не так уж сложно? Термодинамическое макросостояние есть не что иное, как механическое состояние системы молекул?

Осторожнее, повременим с таким заключением. Если немного подумать, то станет ясно, что дело обстоит не так уж просто.

В термостате стоит стакан с жидкостью. Её температура и давление неизменны. Термодинамическое состояние её в каждое мгновение одно и то же. Кажется, она – само постоянство и покой. Но ведь молекулы этой жидкости совершают свой вечный тепловой танец! Значит, механические состояния молекул, которые образуют эту самую жидкость, меняются каждое мгновение! Значит, постоянство и покой обманчивы и жидкость живёт бурной жизнью?!

Раз уж механическое состояние системы молекул, составляющих жидкость, не отражает её «макроскопического спокойствия», то назовём его иначе: термин – «микросостояние» будет подходящим по смыслу дела. Теперь мы скажем: каждое состояние (макросостояние) осуществляется непрерывной сменой огромного числа микросостояний.

Представьте себе, что система состоит из трех перенумерованных молекул. Микросостояние системы будем описывать донельзя грубо, а именно, поделим сосуд, в котором носятся эти три молекулы, на три отсека, а что касается скорости, то разобьём их на две группы – до 1 км/сек (малая скорость) и больше 1 км/сек. Каково будет число микросостояний в этом смехотворно простом случае? Читайте, 8 вариантов распределения скоростей и 27 вариантов положений, то есть $27 \cdot 8! = 216$ микросостояний для модели газа, упрощённой до смешного!



Нетрудно понять, что в реальных случаях, когда для характеристики системы требуется задать точно месторасположение и скорости миллиарда миллиардов молекул, числа микросостояний, относящиеся к одному макросостоянию, становятся непредставимо большими.

В маленьком газовом баллончике модной зажигалки носятся молекулы газа, который зовётся пропаном. Каждое мгновение расположение молекул и их скорости меняются, каждое мгновение – другое микросостояние.

Но хотя число микросостояний огромно, оно всё же не бесконечно велико. Физики могут сосчитать число микросостояний в баллончике зажигалки. Так как мне неизвестны технические параметры этой зажигалки, то я могу сообщить лишь порядок интересующей нас величины. Число микросостояний в баллончике записывается 10 цифрами!!! Число печатных знаков в книжке, которую вы читаете, меньше миллиона (10). Значит, чтобы записать интересующее нас число микросостояний, потребовалась бы книга в сто миллиардов раз (10) более толстая, чем эта.

Надеюсь, что мне удалось поразить ваше воображение, но моя задача не в этом. Цель этого самого трудного параграфа – показать фундаментальную роль теории вероятностей в учении о равновесии тел. К этой цели мы приблизились вплотную, но, чтобы вы отдохнули, мне хочется разрешить себе немного пофилософствовать на тему о трудности популярного изложения научных истин.

В какой бы форме нам ни преподносилось научно-популярное сочинение, оно всегда будет представлять собой рассказ о научных фактах и идеях.

Разговор может идти в двух тональностях. Первая возникает тогда, когда автор ставит перед собой задачу дать ответ на вопросы «как?»; вторая – в тех случаях, когда предстоит ответить на вопросы «почему?».

Различие между этими двумя вариантами изложения научных истин велико. В первом – задача литератора состоит в том, чтобы вести неторопливый рассказ, не забыть важные детали, заботиться об образности изложения, прибегать к повторениям, заставляя этим читателя держать перед глазами всю картину события. Нет проблемы такой степени сложности, чтобы её нельзя было осветить ответами на вопросы «как сделано?», «как построено?», «как работает?»... на любом уровне подготовки читателя.

Во втором случае задача совсем другая. Дать ответ на вопрос «почему?», значит показать, что некое событие или идея вытекают из других положений более общего характера. Но показать, что частное следует из общего, можно лишь методами логики, а ещё лучше – методами математики.

Задача литератора, вступившего на тяжёлый путь ответов на вопросы «почему?», неизмеримо сложнее трудностей, с которыми сталкивается автор, описывающий ледники Кавказских гор или устройство моторного катера с новыми обводами. Ему надо тщательно выделить аксиомы, лежащие в основе объяснения, уменьшить для облегчения восприятия высоту логических ступеней, ведущих от основания к вершине объяснения.

Чтобы объяснение «дошло», читатель должен держать в памяти одновременно все логические переходы, и каждый из них должен быть настолько ясным, чтобы казаться само собой разумеющимся.

Поэтому-то тяжело приходится и автору и читателю.

Подобные трудности возникают и при рассказе о применении теории вероятностей к исследованиям газов.

Напоминаем, что макросостояние тела реализуется непрерывно меняющимися микросостояниями. Число различных микросостояний огромно, но вычислять его физики умеют. Как это нужно делать, показал Людвиг Больцман.

А зачем нужно знать эти числа, которые нельзя записать цифрами, даже истратив на это все мировые запасы бумаги? Какой смысл они имеют?

Если вы внимательно прочитали предыдущие части книги, то вы сами поспешите с ответом. То, что число способов осуществления того или иного результата события пропорционально вероятности результата, вы знаете, не правда ли? А теперь мы выяснили, что число микросостояний есть число способов реализации макросостояния.

По законам логики из этих двух позиций железно следует, что число микросостояний пропорционально вероятности макросостояния.

Вероятность состояния... Как понять сочетание этих двух слов? В самом прямом смысле. Как всегда, вероятности познаются в сравнении. Что вероятнее: стакан горячего чая с лежащим на дне куском сахара или стакан горячего чая с растворившимся в нём сахаром? Что вероятнее: раскалённый кусок железа, лежащий на земле, или кусок железа, принявший температуру почвы?

Слишком простые вопросы, скажет читатель. Согласен. Но сумели бы вы на них ответить без помощи теоремы Больцмана, которую мы сейчас разьясняем? Оказывается, переход к равновесию является дорогой к наиболее вероятному состоянию.

Мне остаётся убедить вас в том, что вероятность состояния (равная числу микросостояний, которыми она осуществляется) действительно достигает максимума при равновесии.

Попробуем прийти к этому выводу с помощью аналогии. Раскроем книгу на странице 68 [ссылка] и вспомним смысл чисел, образующих тридцатую строку чудесного треугольника Паскаля. Напоминаю, что каждое число показывает, сколькими комбинациями можно прийти к одному макроскопическому результату, к одному состоянию. Общее число бросков рулеточного шарика равно 30. Поэтому макросостояние в тридцать «красных» (начало строки) осуществляется 1 способом, двадцать девять «красных» и один «чёрный» (следующее число строки) – 30 способами, двадцать восемь «красных» и два «чёрных» (третье число строки) – 435 способами... 15 «красных» и 15 «чёрных» (середина строки) – 155 117 520 способами. Разные способы осуществления одного и того же результата (то есть одного и того же отношения «чёрного» и «красного»), но отличающиеся лишь разным порядком их выхода, – превосходные аналоги макросостояния.

Каковы признаки наиболее вероятного макросостояния? Примерно равное количество «красного» и «чёрного», отсутствие преимущества того или другого цвета, наибольший беспорядок. Действительно, можно сказать: наиболее беспорядочными являются те серии бросков, что в середине строки, то есть те случаи, когда «чёрное» и «красное» подравниваются. Упорядоченными сериями являются такие, в которых наблюдается большой перевес одного цвета. Полный порядок – это одноцветная серия. Треугольник Паскаля показывает, что беспорядочные серии встречаются много чаще упорядоченных. Нетрудно понять, распространив этот вывод на мир молекул, для изображения которого с помощью треугольника Паскаля потребовалось бы число его строк довести до миллиарда миллиардов, что вероятности беспорядочных серий будут в невообразимое число раз превосходить вероятность порядка.

Аналогия, конечно, не всегда совершенный способ доказательства, но всё же я надеюсь, что эти выводы читатель примет без внутреннего протеста. Для системы молекул беспорядок означает отсутствие особенных направлений движения, отсутствие особых мест скопления молекул, отсутствие каких-либо часто встречающихся скоростей. На языке рулетки это и значит – примерно равное число «чёрного» и «красного».

Из нашей аналогии следует далее, что неравновесное состояние является менее вероятным. Раз оно неравновесно, то в нём нарушены устойчивые пропорции быстрых и медленных молекул, плотность неоднородна по объёму, имеются преимущественные направления движения молекул... То есть «чёрного» много больше, чем «красного».

Несколько страниц назад я принялся разъяснять фразу: «равновесное состояние является наиболее вероятным». Надеюсь, что я справился с этой задачей. Мы увидели, что наблюдаемое состояние тела осуществляется огромным числом микросостояний; выяснили, что число микросостояний пропорционально вероятности макросостояний; методом аналогии показали, что вероятность состояния возрастает с беспорядком в расположении и движении частиц. Из всего этого по законам логики мы пришли к этой действительно ёмкой фразе, усвоение которой, я боюсь, потребовало от читателя некоторого напряжения.

В студенческие годы мне попала в руки толстая книга в ярко-синем переплёте, изданная в Томске. Это был курс термодинамики. В предисловии автор писал:

«Хочу предупредить учащихся о том, что понятие энтропии усваивается с большим трудом. Я лично понял, что такое энтропия, примерно после двадцати лет педагогической деятельности».

Я помню, как изумила меня наивная и откровенная скромность автора.

Содержание только что прочитанного параграфа приведёт нас, как вы сейчас увидите, к понятию энтропии. Так что, если вам было трудно, не удивляйтесь.

Обезьяна за пишущей машинкой

Второе начало термодинамики является железным законом природы. На предыдущих страницах мы попытались сформулировать его на языке вероятности. Мы увидели, что равновесное состояние систем наиболее вероятное, и поэтому вполне понятно стремление всех тел и систем перейти к покою или, вернее, к «мёртвой жизни». И вот вопрос – раз речь идёт «всего лишь» о вероятностном законе, то почему не допустить, что второе начало может нарушаться и тела самопроизвольно могут выходить из положения равновесия? Зафиксированы же в истории Монте-Карло серии из двадцати двух выпадений красного подряд?!

Строгое подчинение природы второму началу термодинамики есть, конечно, следствие закона больших чисел.

Вместо десятков и сотен тысяч событий, фигурирующих в отчёте игорного дома, в мире молекул мы оперируем числами, выражающимися единицей с двадцатью нулями. Поэтому самые крошечные вероятности редчайших и драматических событий, случающихся в Монте-Карло, в миллиарды миллиардов раз превосходят вероятности самопроизвольного отклонения системы молекул от положения равновесия. Но если все те же законы больших чисел не запрещают появления невероятных событий, то интересно узнать, какова вероятность «невероятного» события.

Посадим шимпанзе за пишущую машинку. Посмотрев, как бойко отстукивает страницу человек, обезьяна тоже начинает печатать. Буква за буквой, строка за строкой... Через полчаса, выкрутив обезьянью страницу из машинки, читаем:

Не мысля гордый свет забавить,
Вниманье дружбы возлюбя,
Хотел бы я тебе представить
Залог достойнее тебя...

Возможно? А почему нет? Шимпанзе колотит по клавишам как попало. Последовательность букв может быть любой, так как они равновероятны. А вычислить вероятность каждой из них и в том числе четырех строк, открывающих «Евгения Онегина», абсолютно просто. Букв в алфавите, будем считать, тридцать. Вероятность 1 «н» на первом месте – равна одной тридцатой $1/30$; вероятность «не» – $1/900 = (1/30)$, вероятность «не м» – $1/2700 = (1/30)$ и так далее. Всего букв в четырех строках 86. Вероятность напечатать случайно эти четыре строки равна одной тридцатой в восемьдесят шестой степени $(1/30)$. Это число равно 10, то есть единице, поделённой на единицу со 127 нулями.

Велика или мала вероятность обезьяньего гения? Число вроде бы совершенно мизерное, но сравним его с вероятностью отклонения тела от равновесия. Подберём пример нарушения равновесия, где была бы такая же вероятность.

Скажем так, если тело находится в тепловом покое, то, разумеется, все его точки имеют одинаковую температуру. Но имеется все же крошечная вероятность, что второе начало термодинамики нарушится. Так что в принципе возможно, что на одном конце булавки температура вдруг ни с того ни с сего станет выше, чем на другом. Чем больше отклонение, тем меньше его вероятность. На сколько же долей градуса нарушится второе начало с вероятностью в 10, то есть с той вероятностью, с которой обезьяна сочинила пушкинское четверостишие? Можно рассчитать – оказывается, на 10 градусов. А это очень и очень далеко за пределами измерительной техники. Даже вероятность создания всего «Евгения Онегина» методом случайного «тыка» в клавиши – а она равна что-то 10– в миллион раз больше вероятности флуктуации температуры, которую можно было бы обнаружить обычными приборами.

Пожалуй, приведённые данные достаточно красноречивы, и я надеюсь, что доказал читателям полную невозможность самопроизвольного выхода из равновесия окружающих нас тел. А этим, в свою очередь, доказал невозможность создания вечного двигателя второго рода. Неизмеримо вероятнее обезьяне написать собрание сочинений Пушкина, чем создать захудаленький вечный двигатель, выкачивающий тепло из окружающей среды.

Превосходной моделью, иллюстрирующей неизбежность вероятности равновесного состояния, служит ящик, в который засыпают чёрные и белые зерна. Если их перемешать лопаткой, то скоро они распределятся равномерно по всему ящику.

Зачерпнув наудачу горсть их, мы найдём в ней примерно одинаковое число белых и чёрных зёрен. Сколько бы мы ни перемешивали, результат будет всё время тем же – равномерность сохраняется. Но почему не происходит разделения зёрен? Почему долгим перемешиванием не удастся чёрные зерна переместить вверх, а белые вниз?

Всё дело в вероятности. Такое состояние, при котором зерна распределены беспорядочно, то есть чёрные и белые равномерно перемешаны, может быть осуществлено огромным множеством способов (любые два зёрнышка – чёрное и белое – можно поменять местами, а беспорядок останется беспорядком) и, следовательно, обладает самой большой вероятностью. Напротив, такое состояние, при котором все чёрные зерна окажутся сверху, а белые внизу, единственное (ни одного чёрного зёрнышка нельзя заменить на белое; как только это сделаешь полный порядок пропал). Поэтому вероятность его осуществления ничтожно мала.

Вечное тепловое движение непрерывно перетасовывает молекулы, перемешивает их так, как это делает лопатка с зёрнами в ящике.

Энтропия

Внесём небольшое терминологическое изменение в закон о максимальной вероятности равновесного состояния.

Очень часто в физике величины, которые меняются в больших пределах, заменяют их логарифмами.

Напомним, что такое логарифм. Когда я пишу о науке для так называемого массового читателя, для читателя вообще («дженерал ридер» – по-английски) и вынужден использовать какой-либо термин, который в науке имеет такое же самое распространение, как, ну скажем, поэма в литературе, то впадаю в смущение. Объяснять?! Можно обидеть читателя, который вправе сказать: «За кого ты меня принимаешь, неграмотный я, что ли?» Не объяснять? А вдруг

он позабыл и не поймёт того, о чём будет говориться дальше. Поэтому все же напомним: $10=100$; $10=1000$; $10=10000$ и т.д. Числа 2, 3, 4 и т.д. представляют собой десятичные логарифмы 100, 1000, 10000 и т.д. Как видим, само число возросло в сто раз, а логарифм лишь вдвое.

Логарифмы оказываются полезными и в нашем случае. Вместо того чтобы пользоваться «вероятностью состояния», в обиход вводят «логарифм вероятности состояния». Этот логарифм и называется энтропией.

Закон природы, согласно которому тепло не переходит от холодного к горячему, маховик не раскручивается за счёт охлаждения оси и прилегающего к нему воздуха и раствор медного купороса не делится на воду и купорос, кратко формулируется так: энтропия в естественных процессах всегда растёт.

Закон возрастания энтропии – важнейший закон природы. Из него вытекает, в частности, и невозможность создания вечного двигателя второго рода, и, что то же самое, утверждение, что предоставленные сами себе тела стремятся к равновесию.

Закон возрастания энтропии иногда называют «вторым началом термодинамики» (термодинамика – учение о тепле). А что такое первое начало? Это закон сохранения энергии.

Название «начала термодинамики» для этих законов природы сложилось исторически. Нельзя сказать, что объединение «под одну шапку» обоих начал было делом удачным. Ведь закон сохранения энергии – это механический закон, которому подчиняются неукоснительно как большие тела, так и отдельные атомы и молекулы. Что же касается закона возрастания энтропии, то, как следует из сказанного выше, он применим лишь к достаточно большому собранию частиц, а для отдельных молекул его просто невозможно сформулировать.

Статистический (это и означает – относящийся к большому собранию частиц) характер второго начала термодинамики несколько не принижает его значения. Закон возрастания энтропии предопределяет направление процессов. В этом смысле энтропию можно назвать директором-распорядителем природных богатств, а энергия служит у неё бухгалтером.

Кому же принадлежит честь открытия этого важного закона природы? Здесь нельзя ограничиться одним именем. У второго начала термодинамики есть своя история.

Как и в истории первого начала термодинамики, в первую очередь должно быть упомянуто имя француза Сади Карно. В 1824 году он издал на свои средства печатный труд под названием «Размышления о движущей силе огня». В этой работе впервые было указано, что тепло не может переходить от холодного тела к тёплому само собой без затраты работы. Карно показал также, что максимальный коэффициент полезного действия тепловой машины определяется лишь разностью температур нагревателя и охлаждающей среды.

Только после смерти Карно, в 1832 году на эту работу обратили внимание другие физики. Однако она мало повлияла на дальнейшее развитие науки из-за того, что все сочинение Карно было построено на признании неразрушимого и несоздаваемого «вещества» – теплорода.

Лишь вслед за исследованиями и размышлениями Майера, Джоуля и Гельмгольца, установивших закон эквивалентности тепла и работы, немецкий физик Рудольф Клаузиус (1822–1888 гг.) пришёл ко второму началу термодинамики и математически сформулировал его. Клаузиус ввёл в рассмотрение энтропию и показал, что сущность второго начала термодинамики сводится к неизбежному росту энтропии во всех реальных процессах.

Все, что мы сказали ранее по поводу истолкования естественного хода процессов, несомненно, очень остроумно и очень похоже на правду. Но тем не менее набросанную картину никак нельзя назвать завершённой. В таком виде наши молекулярно-кинетические рассуждения могут быть скептиками отнесены к разряду болтовни. Так оно, кстати, и было в конце XIX века. О наскоках противников молекул на статистическую теорию мы расскажем чуть ниже. Но уже сейчас можно утверждать, что выступления сторонников теории, заканчивающиеся чем-нибудь вроде: «Итак, мы показали, что второе начало термодинамики хорошо объясняется молекулярно-кинетической гипотезой», комментировались противниками примерно следующим образом: «Ну что же, гипотеза ваша выиграла, но наука от этого ничего не получила».

Дело заключается в том – об этом мы тоже уже говорили выше, – что теория становится теорией лишь тогда, когда с её помощью можно что-то предсказать. Объяснения постфактум – это не наука; объяснения постфактум создают лишь ощущение умственного комфорта. Но,

право же, ценность теории близка к нулю, если её значение оказывается аналогичным значимости в нашей жизни удобного кресла.

Таким образом, перед сторонниками молекулярно-кинетической гипотезы встала задача перекинуть мост между молекулярными характеристиками и непосредственно измеряемыми физическими свойствами вещества. Мало того, надо было построить такую теорию, которая предсказывала бы, как те или иные свойства вещества будут изменяться с изменением состояния тела, то есть что будет делаться с тем или иным веществом, если растёт температура, увеличивается давление...

На пути решения этой грандиозной задачи и возникла новая физика, получившая название статистической физики.

Статистическая физика

У нас, конечно, есть все основания говорить, что статистическая физика – это новая физика. Огромность числа частиц тела не позволяет описывать состояние каждой из них. Но в то же время эта огромность позволяет применить к изучению физических тел новые «статистические» методы. Основы статистической физики были заложены замечательным австрийским физиком Людвигом Больцманом (1844–1906 гг.). В серии работ Больцман показал, как осуществить для газов программу построения теории, связывающей средние характеристики молекулярного движения с физическими свойствами.

В 1877 году логическим завершением этих исследований явилось данное Больцманом статистическое истолкование второго начала термодинамики. Формула, связывающая энтропию и вероятность состояния системы, высечена на его памятнике.

Трудно переоценить научный подвиг Больцмана, нашедшего в теоретической физике совершенно новые пути. Исследования этого замечательного учёного подвергались при его жизни насмешкам со стороны консервативной немецкой профессуры: в то время атомные и молекулярные представления считались многими корифеями науки наивными и ненаучными. Больцман покончил жизнь самоубийством, и обстановка, несомненно, сыграла в этом далеко не последнюю роль.

Здание статистической физики было в значительной степени завершено трудами выдающегося американского физика Джошуа Вилларда Гиббса (1839–1903 гг.). Гиббс обобщил методы Больцмана и показал, каким образом можно распространить статистический подход на все тела. Последняя работа его вышла в свет уже в начале XX века. И прошло порядочное число лет, пока его замечательные исследования стали известны всем физикам. А все дело заключалось в скромности. Из-за неё Гиббс печатал свои труды в известиях небольшого провинциального университета.

Что же это за путь, по которому надо идти, чтобы найти связь между хаотическим молекулярным движением и свойствами тела? Как экспериментальным путём измерить вероятность состояния тела?

Одна из самых важных работ Людвигу Больцману показала следующее. Если телу сообщить небольшое количество энергии в форме тепла и разделить затраченное число калорий на температуру, при которой происходит эта передача энергии, то полученное частное будет равняться приросту энтропии. А прирост энтропии, как помнит тот читатель, который не позабыл свойства логарифмов, равен относительному приросту вероятности состояния (ибо разность логарифмов равна логарифму частного).

Доказывать эту теорему я не имею возможности. Но такова уж участь читателей литературы о науке – они должны иногда верить автору на слово. Правда, в наш недоверчивый век я стараюсь не злоупотреблять этой привилегией, но сейчас прошу поверить: все сказанное верно, и энтропию, вычисляемую из вероятности состояния, можно (и не очень трудно) измерить на опыте.

Гиббсом были даны формулы, которые позволяли проводить вычисление любых физических свойств любых тел, если известна вероятность состояния.

На первый взгляд может показаться, что прогресс не очень-то велик и что молекулярно-кинетическая теория осталась «вещью в себе». Ну получили формулу для расчёта

свойств тела! Но ведь для того, чтобы произвести этот расчёт, надо знать вероятность состояния, то есть число микросостояний! А откуда её взять? Гиббс показал, что вместо числа микросостояний достаточно знать их распределение по энергии.

Долгое время казалось, что от этого легче не стало. И лишь относительно недавно мощь статистической физики проявилась. Лет пятьдесят назад физики научились измерять распределение микросостояний по энергии с помощью спектрального анализа. И тогда создалась возможность использовать статистическую физику так, как должно, то есть для предсказаний.



Вот пример схемы действий, которая приводит в восхищение физика и, кстати говоря, формирует его мировоззрение и психологию.

Вы, осветив какой-либо газ, ну, скажем, для определённости углекислый газ, подвергаете его спектральному исследованию и получаете красивую спектрограмму, состоящую из множества чётких спектральных линий. Спектрограмма расшифровывается с помощью ЭВМ, и вы получаете список энергии микросостояний молекул в виде ряда чисел. Полученные числа подставляются в формулы статистической физики. Если лень считать самому, можете и эту задачу поручить ЭВМ. В результате расчёта вы получите, например, зависимость теплоёмкости углекислого газа от температуры. Теперь отправимся в другую лабораторию – калориметрическую. Здесь можно измерить, сколько тепла надо затратить, чтобы один грамм газа нагреть от 20 градусов до 21, от 21 градуса до 22 и т.д. Это и значит, что вы измеряете кривую теплоёмкости. Вы отмечаете крестиками полученные на опыте данные на миллиметровой бумаге. Здесь же, в том же масштабе, изображена кривая теплоёмкости, которую вы вычислили теоретически. И видите, что крестики строго ложатся на теоретическую кривую.

Вдумайтесь ещё раз в смысл происшедшего. Что общего, казалось бы, между поглощением света углекислым газом и теплом, затрачиваемым на нагрев этого газа? Да ничего, решительно ничего.

И вот между этими двумя явлениями перекидывается мост – прозрачно ясная идея беспорядочно движущихся молекул, далее, поведение молекул уподобляется поведению шарика рулетки, вступает в строй математический аппарат теории вероятностей, и два события оказываются связанными железной цепью. Характер одного из них определяет особенности второго.

Вот это и есть настоящая физика, в этом главное, что принесла с собой наука. Она сделала мир единым, а не хаосом разрозненных, не имеющих между собой ничего общего явлений.

Взрыв страстей в городе Любеке

Как это ни кажется сейчас странным, защищать атомы и молекулы в конце XIX века было не простой задачей.

Под влиянием натурфилософов типа Эрнеста Маха из науки тщательно изгонялись

всякого рода предположения, которые не могли быть проверены опытом. Прямых доказательств существования атомов в то время не было, поэтому атомные воззрения подравнивались к метафизике и рассматривались большинством естествоиспытателей-европейцев как разновидность веры в загробную жизнь и общение с духами. Напротив, большим уважением пользовались взгляды так называемых энергетиков, которые предлагали в основу физики положить понятие энергии и изгнать из науки всякого рода соображения о строении вещества.

Вполне понятно, что работы Людвиг Больцмана, строившего статистическую физику с помощью простых и ясных представлений о мире частиц, взаимодействующих по законам механики, встречались этой группой учёных в штыки. Больцман не только оборонялся, но и переходил зачастую в атаку, нападая на энергетиков на их территории.

На страницах печати шли ожесточённые споры. Противники иногда встречались и публично.

Одну из таких дискуссий по поводу энергетике, происходившую в австрийском городе Любеке в 1895 году, известный физик Арнольд Зоммерфельд вспоминал такими словами: «Реферат об энергетике был прочитан доктором Хельмом. Его поддерживал Вильгельм Оствальд. За ними обоими стояла натурфилософия Эрнеста Маха, отсутствовавшего на этом заседании. Борьба между Оствальдом и Больцманом походила как внешне, так и внутренне на сражение тореро с быком. Но, несмотря на все искусство владения шпагой, тореро на этот раз был побеждён быком. Аргументы Больцмана были неотразимыми. Мы, молодые теоретики, были все завоёваны Больцманом».

Стенограммы заседания не сохранилось, и, я думаю, историки науки не рассердятся на меня, если я, пользуясь опубликованными статьями спорящих сторон, по своему усмотрению распорядюсь некоторыми деталями обстановки и поведением действующих лиц.

Итак, город Любек. Ранний вечер. Оживлённо разговаривая, к широким дверям большой аудитории направляются профессора, доценты, студенты. Дискуссия интересует всех. Аудитория заполняется не только физиками, но и химиками, математиками, биологами... Обсуждаются проблемы, интересные для любого естествоиспытателя.

Реферат Хельма – все это превосходно понимают – лишь скучная затравка. Самое интересное начнётся позже. В первых рядах Больцман и Оствальд – оба великолепные, остроумные полемисты. Их борьба, без сомнения, будет захватывающей.

Хельм заканчивает свой реферат:

– Итак, дамы и господа, я думаю, сумел наглядно показать вам, что энергетика, применённая к любой области знания, никогда не будет разрушена дальнейшим развитием науки. Энергетика стабильна ничуть не меньше, чем геометрия.

Всё, что может случиться с законами, касающимися энергии, это то, что эти законы могут быть расширены и уточнены. Здание, образованное этими законами, может быть украшено, но оно никогда не будет разрушено и реконструировано. Что же касается механических гипотез, то их судьба иная. Они без конца разрушаются и реконструируются. Достаточно вспомнить бесчисленные гипотезы и теории, которые были созданы для объяснения явления света.

Реально и содержательно лишь одно понятие – понятие энергии. Разрешите мне закончить моё выступление словами глубокоуважаемого профессора Вильгельма Оствальда. «Если бы поэт пожаловался, что он не находит больших идей, которые охватывают мир в едином объятии, то я посоветовал бы ему обратиться к понятию энергии, наиболее грандиозному из всех, которые волновали умы нашего века. Если бы поэт сумел воспеть энергию должным образом, то он создал бы эпическую поэму, которую можно было бы рассматривать как поэму человечества».

Последовали вежливые аплодисменты, и председательствующий предложил желающим поделиться со слушателями своими взглядами. Больцман сразу ринулся в атаку:

– Я с огромным интересом прослушал доклад многоуважаемого господина доктора. Я не могу не согласиться с ним, что законы, устанавливающие связь между непосредственно измеряемыми величинами, незыблемы и будущее развитие науки может лишь расширить их, но не изменить. Так же как господин Хельм, я ставлю весьма высоко все теоремы, касающиеся энергии, и уверен, что понятие энергии приносит науке большую пользу. Правда, я не стал бы

восхвалять энергию в стихах, приберегая мой мизерный поэтический талант для лирических излияний. Но тем не менее я желаю господам Оствальду и Хельму найти нового Гёте, который бы вдохновился этой темой.

Короче говоря, позитивная программа господина Хельма не вызывает у меня возражений. Но мне трудно согласиться с докладчиком там, где он призывает нас отказаться от тех методов, без которых, по-моему, наука не может жить и развиваться. Я имею в виду атомную теорию, которая делает столь наглядными картины химических явлений, кристаллизации, тепловых явлений.

Оствальд . Атомы – наивная выдумка древнегреческих мудрецов. Почему мы выражаем уверенность, что все атомные и молекулярные гипотезы должны быть изгнаны? Почему мы убеждены, что через пятьдесят лет сведения об атомах и молекулах можно будет найти лишь в пыли библиотек? По простой причине – эти гипотезы не содержат ничего дополнительного по отношению к факту, который они призваны объяснить. Тело горячее – значит, атомы движутся быстрее. А почему атомы движутся быстрее? Вместо того чтобы облегчить задачу объяснения природы, я её только осложняю, увеличивая число положений, которые надо истолковать.

Больцман . Если бы дело обстояло так, как вы говорите, то вы были бы правы. Но ведь атомная гипотеза охватывает самый различный круг явлений. Как можно не чувствовать, что, используя представление об атомах и молекулах, мы подводим общее основание под все естествознание? Факты, которые казались разрозненными, начинают складываться в единое целое.

Оствальд . Такое единство превосходно достигается составлением феноменологических уравнений.

Голос из публики . Господа, среди слушателей есть малограмотные люди. Пожалуйста, объясните, что значит феноменологическое уравнение.

Оствальд (снисходительно, с улыбкой). Пожалуйста. Это уравнение, которое связывает лишь непосредственно измеряемые величины. Например, уравнение Ньютона: сила равна произведению массы на ускорение. Все три величины могут быть непосредственно измерены. «Я гипотез не измышляю!» – сказал великий Ньютон. Энергетика следует этому завету: никаких гипотез, никаких наглядных картин!

Больцман . Чистейшая фикция. Когда мы размышляем о явлениях, мы всегда пользуемся теми или иными картинками. Мысленно нельзя себе представить только господ бога. Вы говорите, что надо ограничиться дифференциальными уравнениями, записанными для непосредственно измеряемых величин. Но возьмите такие уравнения, как уравнения теплопроводности, или вязкости, или теории упругости. В этих уравнениях обязательно фигурируют величины, отнесённые к малым областям. Тело мысленно разбивается на материальные точки. Все равно вам не удаётся избавиться от моделей явления.

Оствальд . Это не модели. Это просто вспомогательные представления, право на которые мы получаем по той причине, что записанные уравнения оправдываются на опыте. Что же касается атомных гипотез, то вы, господин Больцман, не указали нам пока что способ увидеть атомы.

Больцман . Не сомневаюсь, что это случится достаточно скоро!

Оствальд . Ну что же, мы согласны подождать. Но пока что на месте господина Больцмана я не прибежал бы на лекциях ко всяким игрушкам, изображающим атомы и молекулы. Насколько мне известно, когда господин профессор читает лекции по теории упругости, то он пользуется атомами, сделанными из папье-маше, к этим «атомам» прикреплены дюжины крючков, которыми атомы сцеплены. Учебная аудитория всё-таки не детская комната.

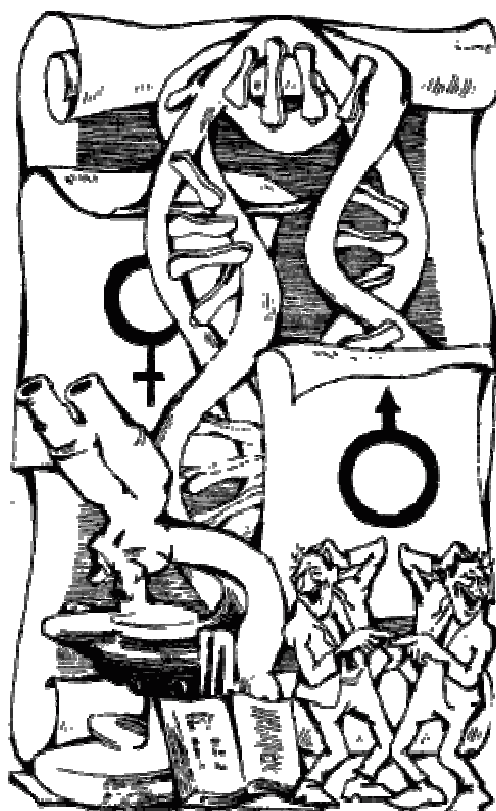
Смех части аудитории.

Больцман . Да, я за наглядность. Большую часть своего жизненного опыта человек набирает глазами. Стремление наглядно представить себе физические явления законно, и там, где можно, надо прибегать к зримым моделям. Работа с такими моделями наталкивает на новые идеи, приводит нас к необходимости поставить те или иные новые эксперименты, позволяет прочувствовать совершенство или недостатки той или иной гипотезы. Господин Оствальд ошибается, если думает, что я ставлю знак равенства между моделями, изготовленными из

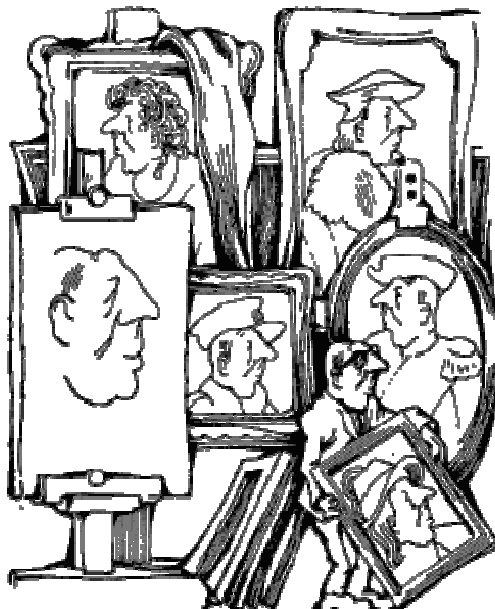
бумаги и дерева, и атомным миром. Сторонники атомной гипотезы прекрасно понимают условность модели. Всякая модель призвана показать лишь какую-то группу явлений. Разумеется, атомы не то же самое, что деревянные шарики, но в каких-то отношениях атомы ведут себя как шарики. Разъяснение поведения атомов при помощи моделей – это совсем не детская забава!

Переругиваться таким образом в течение 10–15 лет – это совсем не весело. Слышать насмешки над собой и обвинения в ретроградстве, когда знаешь, что ты открываешь новые пути в науке, – это совсем не легко. Чтобы спокойно работать при всём при этом, надо иметь хорошую нервную систему. А у Людвигу Больцмана она была скверная.

Часть пятая Частицы, которые правят миром



Яблоко падает близко от яблони



Бытует такой анекдот. Некая кинозвезда, восхитившись талантом Бернарда Шоу, пишет ему письмо: «Предлагаю Вам свою руку и сердце. Представьте себе наших детей, унаследовавших мою красоту и Ваш ум». Ответ был краток. «Мадам, я вынужден отвергнуть Ваше предложение. Ведь может быть и так, что дети будут такими же красивыми, как я, и такими же умными, как Вы».

Жалко, что никак не угадать, на мать будет похож ребёнок, на отца или на более дальних родственников. Если бы можно было это знать наперёд, возможно, иной раз стоило бы воздержаться от производства потомка на свет божий.

Комбинация наследственных признаков родителей, проявляющихся в потомстве, – типично случайное явление. Поэтому удаётся провести прямую аналогию между наследованием ребёнком красоты и разума своих родителей и игрой в карты или кости.

Задолго до проникновения в тайны строения биологического вещества учёные и практики, исследовавшие передачу наследственных признаков у быстро размножающихся животных и растений, явно или неявно пользовались представлением о материальном носителе наследственности – гене.

Ещё совсем недавно никто толком не смог бы объяснить, что такое ген. Но если допустить его существование и добавить ещё одну-две гипотезы, то картина передачи наследственных признаков станет ясной и, что самое главное, такая модель явления позволит делать предсказания. А поскольку вся картина носит случайный характер, то предсказания будут, разумеется, носить статистический характер.

Итак, примем, что в любом организме содержится множество разных генов. Каждый из них отвечает за тот или иной признак. Например, один определяет голубизну глаз – ген голубоглазия, другой ген – длинного носа, третий – ген вздорного характера и т.д. ... Каждый из них имеет своего парного антагониста. Для гена голубоглазия есть ген кареглазия, для гена длинного носа – ген короткого носа, для гена вздорного характера – ген покладистого характера.

Чтобы объяснить ряд фактов, необходимо предположить, что гены выступают в организме только парами. Возможны особи, имеющие для некоего признака пару тождественных генов – скажем, у одной два гена, заведующих голубоглазием, у другой особи – два гена кареглазия, а есть особи, у которых ген присутствует со своим парным антагонистом: один ген голубоглазия, другой – кареглазия.

Если у особи оба гена «голубые», то её глаза будут, конечно, тоже голубые; если оба гена у неё «карие», то и глаза её карие. А как обстоит дело, если один ген «карий», а другой «голубой»?

На этот вопрос отвечает следующий закон. Из двух антагонистических генов один подавляет другого. Тот, который берет верх, называется доминантным, а уступающий – рецессивным. А какой из пары генов является доминантным и какой рецессивным и каков

«состав» генов у животного или растения, покажет только опыт, практика.

Как же, собственно говоря, происходит передача наследственных признаков?

Дочерний организм отбирает каждую пару своих генов из двух пар – материнской и отцовской. Если речь идёт о гене, который может выступать в форме Г или форме К, то возможны следующие варианты передачи наследственности:

ОТЕЦМАТЬДЕТИ Г Г Г Г Г Г Г Г К 1/2 Г Г + 1/2 Г К Г Г К Г К Г Г Г 1/2 Г Г + 1/2 Г К Г К Г К 1/4 Г Г + 1/2 Г К + 1/4 К К Г К К К 1/2 Г К + 1/2 К К К К Г Г К К К Г К 1/2 Г К + 1/2 К К К К К К К К

Проанализируем последнюю графу, показывающую, какие пары генов получают дети от своих родителей.

Первая строка – у всех детей один состав генов, так как родители имеют те же гены. Из второй строки видно, что половина наследников имеет генную формулу ГГ, а другая половина – формулу GK. Наибольшее разнообразие признаков возникает у потомков в том случае, если и отец и мать их являются обладателями антагонистической пары генов (пятая строка). Тогда одна четверть потомства имеет пару одинаковых генов Г, другая четверть – пару одинаковых генов К, а половина потомства повторяет своих родителей, то есть обладает парой антагонистических генов (GK). Вы, конечно, уже поняли, как получены формулы состава генов у детей. Ну конечно, надо «перемножить» символы; скажем, $GK \times GK = GG + GK + GK + KK$, откуда ясно, что GG и KK выступают с «весом» в 1/4, а GK с «весом» в 1/2.

Чтобы ответить на вопрос, в какой форме выступает признак, надо указать, какая из форм гена является доминантной. Если речь идёт о цвете глаз, то доминантной является форма К (кареглазие). То есть карие глаза будут у всех потомков, кроме тех, которые получают пару генов GG. К такому утверждению люди пришли после многочисленных наблюдений и исследований передачи по наследству признаков цвета.

Обратите внимание, что невозможно сделать заключение о составе генов по цвету глаз однозначно. Если глаза голубые, то состав генов наверняка GG, ибо Г – рецессивный признак (это выведено из опыта). Но если глаза карие, то состав генов может быть как KK, так и GK.

Если отец голубоглаз, то его генная формула GG. Если мать обладает парой KK, то глаза детей будут неизбежно карими. Если же у неё пара генов GK (вторая строчка таблицы), то половина шансов за то, что цвет глаз у детей будет таким же, как у отца. Ещё один вывод: супруг не должен терзаться сомнениями, если у него родилось голубоглазое дитя, несмотря на бесспорно карие глаза обоих родителей. Вы видите, что подобное событие может произойти с вероятностью одна четвёртая. Так будет, если соответствующие гены подобраны в форме GK (пятая строка) как у отца, так и у матери.

Табличка, которую мы только что привели, позволяет судить о вероятности события, но отнюдь не является документом для жёсткого предсказания. Из неё, скажем, следует, что кареглазый отец с формулой гена GK и голубоглазая мать могут иметь как голубоглазого, так и кареглазого ребёнка, и притом с равными шансами. Может ли быть в этом семействе пять голубоглазых детей? Конечно, может быть, и вероятность этого события такая же, как появление в рулетке пять раз одинакового цвета, то есть одна вторая в пятой степени (или одна тридцать вторая).

Можно представить себе передачу по наследству цвета глаз и волос, формы носа и ушных раковин и т.д. следующим образом. Отец и мать протягивают будущему существу чёрный ящик. И в отцовском и в материнском ларце по два шара для гена каждого сорта. Будущий ребёнок выбирает по одному шару из каждого ящика – один от отца, а другой от матери. Разумеется, вполне может случиться и так, что несколько детей сделают в этой несложной игре одинаковый выбор одного или нескольких генов.

Как всегда, знание вероятности события мало полезно, когда идёт речь о единичном событии. Да и в случае 5–6 событий можно, руководствуясь вероятностями, сильно ошибиться, делая предсказания. Но когда речь идёт о многократно повторённом опыте, то, как мы знаем, вероятностные предсказания становятся достоверными.

Родоначальник современной генетики Грегор Мендель провёл громадное число опытов по скрещиванию между собой растений с разными признаками. Именно эти опыты и привели к формулировке только что описанной модели передачи наследственных признаков.

Так как количество «детей» в этих опытах измерялось сотнями и тысячами, то законы вероятности проявились достаточно отчётливо.

Вот, скажем, такой опыт. Горох с гладкими горошинками (Г), скрещённый с горохом с морщинистыми горошинками (М), даёт совершенно однородное поколение: все «дети» оказываются гладкими горошинками. Значит, гладкость, согласно нашей модели, есть доминантный признак (запомним это).

А связывая особенности полученного потомства от двух сортов гороха с нашей таблицей, мы видим, что они соответствуют третьей строке таблицы. То есть «родители» должны обладать парами генов ГГ и ММ, а «дети» при этом имеют пары генов ГМ.

Чтобы проверить справедливость такой модели, скрестим между собой «детей». Вероятностная формула следующего (второго) поколения будет $1/4$ ГГ + $1/2$ ГМ + $1/4$ ММ. Поскольку Г доминантный признак, то вероятность появления гладких горошинок равна $3/4$, а морщинистых $1/4$. Следовательно, по мере увеличения числа опытов отношение числа «гладких» «внуков» и «внучек» к «морщинистым» должно стремиться к трём.

В одном из опытов Мендель нашёл такие числа: 5474 и 1850, то есть отношение оказалось равным 2,95. Отклонение от теоретически вычисленной величины меньше 2 процентов. Таким образом, этот эксперимент, так же как и огромное множество других, которые были поставлены самим Менделем и другими генетиками, находятся в блестящем согласии с вычисленными вероятностями и подтверждают справедливость модели двух чёрных ящиков, заполненных парами шаров – по паре на каждый ген.

Огромный материал, накопленный генетиками, позволяет проводить количественную проверку вероятностных предсказаний. Располагая сведениями о результатах многих десятков экспериментов, в каждом из которых имеются, скажем, по тысяче наблюдений, можно, разумеется, построить кривую распределения признака. Она окажется близкой к «нормальной гауссовой кривой» с центром, совпадающим с теоретически вычисленной вероятностью. Любое отклонение её от нормальной будет говорить об одном – в предположении о типе генов родителей нами допущена какая-то ошибка.

Из сказанного вытекает, что распределение признаков у потомства является основной информацией о типе генов у родителей. И те правила, о которых мы говорили, являются азбукой селекционеров. На их основе проводится практическая работа по выведению новых сортов растений и новых видов животных.

Мы и наши предки

В том, что дети наследуют внешние черты родителей, никто не сомневается. Однако житейские наблюдения над тем, сколь похожи дети на своих пап, мам и тёток, не даёт нам основания считать, что природа генов дискретна. Наследственность передаётся часто в расплывчатой форме, и обычно нос ребёнка «напоминает» по форме носы родителей, глаза «примерно» такого же цвета, как у папы или мамы, походка «напоминает» манеру двигаться дяди Коли и т.д. Лишь наблюдения над горошинами и мушками, опыт животноводов, данные селекционеров убеждают в том, что имеются частички наследственности. Что же касается расплывчатого сходства, то, оказывается, оно возникает по той причине, что нос, глаза и другие черты определяются не одной, а многими парами генов. При таком условии будущий ребёнок тацит из папиного ящика, скажем, пять-шесть доминантных генов, отвечающих за форму носа, и для окончательного формирования этого важного органа добавляет сюда ещё три-четыре доминантных гена из материнского ящика. Именно поэтому довольно редко встречаются дети, выпечатанные в родителей. Как редко? Это вопрос теории вероятностей. Скажем, если наследник вытащил из ящика отца пару десятков доминантных генов, определяющих черты лица (вероятность одна вторая в двадцатой степени, то есть такая, с которой можно считаться), то можно быть уверенным в сходстве, которое обычно характеризуют как потрясающее.



Достаточно часто семейное сходство удерживается много поколений. Губа Габсбургов, например, была долгое время неотъемлемым признаком членов этой королевской династии. Однако от поколения к поколению сходство постепенно падает.

Если организм определяется малым числом генов то он будет представлен незначительным числом различающихся друг от друга особей. Впрочем, «незначительное» не очень подходящее здесь слово. Если бы генов было всего лишь двадцать, то и в этом случае число нетождественных индивидов равнялось бы миллиону.

А сколько их в организме человека? Ответить на этот вопрос можно так: если не говорить об однойцовых близнецах, то можно смело сказать, что одинаковых людей не бывает. Значит, если гены существуют и представляют собой что-то вроде частичек, то их должно быть очень много (так уж довольно давно думали биологи). Сколько? Добравшись до атомной структуры гена, физики показали, что их число порядка 10 000. Таким образом, число возможных сочетаний генов столь велико, что вероятность встретить своего двойника крайне мала.

Наличие в организме человека генов, отвечающих за его физиологические признаки – черты лица, конституцию, склонность к тем или иным заболеваниям и прочее, – является неоспоримым фактом.

Возникает естественный вопрос: а духовный облик человека – это тоже его генетический признак вроде рыжих волос? Имеется много людей, которые отвечают на этот вопрос утвердительно и потому удивляются, когда оказывается, что у добродетельных родителей может быть сын хулиган. Более того, существуют и такие люди, которые считают возможным стать на путь обобщений и изрекать глубокомысленные сентенции вроде того, что человек от природы добр, или зол, или глуп и коварен.

Это, конечно, неверно. Ближе к истине старинное изречение, что ребёнок при рождении – это чистая доска «*tabula rasa*». Конечно, то, что будет записано на доске, определяется средой, в которой рос и воспитывался ребёнок. Однако современная генетика заставляет нас помнить, что целый ряд конкретных поведенческих реакций животных наследственно закреплены. Так что в генетических особенностях эмоционально-поведенческого склада сомневаться не приходится. Поэтому мы не станем уверять читателя, что биологическая природа человека никак не связана с его духовным обликом. Разумеется, связана каким-то сложным способом, исследование которого явится увлекательной задачей науки в ближайшие десятилетия.

Эта связь – так подсказывает нам человеческий опыт – в основном сводится к тому, что биологически разные (то есть разно построенные из биологических молекул) организмы могут быть по-разному предрасположены к приобретению тех или иных свойств разума и души. Одного человека легче воспитать добрым, другого труднее, одного легко научить математике, а другого труднее, зато он легко познает приёмы живописи.

Пока что молекулярная биология не может нам сообщить, что означают эти «легко» и «трудно» на языке атомов и молекул. Когда же модель, демонстрирующая роль биологической структуры в воспитании человека, будет создана, она, вероятно, будет кой в чём напоминать огромный шкаф с бесчисленным количеством подразделений, полок и ящичков, стенки

которых сделаны из резины.

На эти полки будут складываться приобретаемые в результате воспитания многочисленные моральные, эстетические и рационалистские ценности. Для каждой из них своё место в шкафу.

Существует, скажем, полка логических способностей. У одного она от природы широка, у другого узкая. Но стенки резиновые, и с помощью воспитания количество багажа, втиснутое с трудом на узкую полку, может оказаться значительным. Напротив, при отсутствии воспитания широкая полка остаётся незаполненной. В результате менее «одарённый» человек достигнет больших вершин, чем тот, который не сумел, не захотел или не осознал возможности воспользоваться тем, что ему было подарено природой.

Пустой шкаф, символизирующий мозг новорождённого, является таким же предметом статистики, как рост ребёнка или вес. Каждый из ящичков, предназначенных для того или иного свойства, имеет средние размеры и средние упругие свойства стенок. Отклонения от средних значений подчиняются гауссовым кривым, которые и являются биологической характеристикой общества.

Эти кривые важны – от них зависит лёгкость воспитания и образования тех или иных свойств разума и души человечества. В то же время ясно, что они не определяют ни морали, ни культуры общества: *шкаф пуст, пока человек не воспитан обществом*.

Моральные устои, религиозные убеждения, политические мнения являются результатом воспитания. Стенки ящичков, предназначенных для хранения моральных ценностей, достаточно гибкие, и люди, принадлежащие одному классу общества, естественным образом окажутся объединёнными общей идеологией безотносительно различий в структуре своих генов.

Различия в духовном облике, в уровне и характере культуры, в моральных совершенствах народа могут быть колоссальными при одной и той же биологической (генетической) характеристике. Об этом свидетельствует история.

Представьте себе необитаемый остров, на который кораблекрушение выкинуло Адама и Еву – родоначальников нового человеческого племени. Наследники этих прародителей в любом поколении будут обладать комбинациями генов, которыми владели Адам и Ева.

Предположим, что Адам и Ева народили много детей. Если так, то оба гена, составляющие каждую пару, пойдут в дело в равной степени. Значит, пропорция генов голубоглазия и кареглазия, генов рыжих и чёрных волос, больших и маленьких ящичков, предназначенных для обучения добру и злу, математике и живописи, остаётся неизменной в каждом поколении.

Это действительно верно для каждого замкнутого общества, но с одной существенной поправкой. Хотя гены – частички очень прочные, все же в среднем один ген из десяти тысяч за одно поколение, оказывается, портится. Причины порчи могут быть самыми разными, и прежде всего играют здесь роль всякие радиации. Таким образом, медленно, но верно и в замкнутом обществе происходят изменения.

С точки зрения геолога, меряющего историю планеты сотнями миллионов лет, генетические изменения происходят быстро. Но историку, ограничивающему свои интересы двумя-тремя тысячами лет, то есть временем какой-нибудь сотни поколений, порча генов кажется явлением совершенно незаметным. Отсюда следует достаточно жёстко, что по составу генов люди XX века вряд ли отличны от древних греков или римлян: тот же процент талантливых людей, тот же процент людей, из которых легко воспитать солдат или полководцев, равные доли голубых и чёрных глаз. Коренные изменения происшедшие с человечеством, не связаны с изменениями рисунка его генов.

Современный человек отличается от того, который жил до так называемого рождества Христова, тем, что он иначе образован, живёт в другой среде.

Генетическая природа человека не изменилась, значит, те колоссальные различия, которые мы наблюдаем в людях разных веков, в членах обществ с различным социальным строем, – эти различия являются функцией образования, которое, в свою очередь, определяется классовыми интересами общества.

По биологической своей сути мы те же, что наши далёкие предки. Тем не менее мы

совсем другие. Иначе воспитаны.

* * *

По логике повествования следовало бы теперь обратиться к структуре гена и пояснить, как на языке атомов и молекул выражаются закономерности и случайности передачи генетических признаков. Мы сделаем это, но позже.

А сейчас расскажем о роли случайности на путях научного открытия. Заметим сразу же, что тема эта необъятна, поэтому мне хочется при её освещении проиллюстрировать её примерами из своей узкой профессии. А занимаюсь я всю свою жизнь применением рентгеновских лучей для исследования органических веществ.

Так как это имеет некоторое отношение к открытию структуры гена, то, рассказывая о путях открытия структуры гена, мы узнаем и саму структуру гена.

Гвоздь выпал...

В одной английской песенке, переведённой С. Маршаком, рассказывается, как гвоздь выпал – подкова отвалилась, подкова отвалилась – лошадь захромала, лошадь захромала – командир убит, командир убит – конница разбита, конница разбита – армия бежит... И так далее, и тому подобное. Короче, получается, что плохо заколоченный гвоздь изменил ход истории.

Формально вроде все здесь правильно. И есть много умных, казалось бы, людей, которые вполне серьёзно полагают, что именно такие случайные происшествя вроде выпавшего гвоздя или насморка Наполеона перед сражением при Ватерлоо определяют ход истории.

Спору нет. Ничтожная случайность влияет на конкретное содержание жизни людей. Каждый из нас, перебрав мысленно своё прошлое, найдёт не один пример, когда важный выбор в жизни – вуза, места работы, маршрута туристского путешествия со всеми вытекающими из этих выборов последствиями – определялся какими-то пустяками: брюки порвались, с приятелем поговорил, поскользнулся на апельсиновой корке. И каждая такая чепуха, в свою очередь, определялась какой-то другой мелочью, и так без конца.

Проанализировав все эти обстоятельства, нетрудно прийти к заключениям вроде: «Чему быть, тому не миновать»; «Не знаешь, где найдёшь, где потеряешь»... Из этих мудростей, в свою очередь, вытекает жизненная философия ничегонеделания, тщетности каких бы то ни было усилий. Жить тогда становится скучно и неинтересно, даже трагично, как героям произведений Ф. М. Достоевского.

Какую же ошибку в рассуждении совершают те из нас, кто думает, что случайные изгибы жизненной линии делают бессмысленным управление своей судьбой? Вот какую.

В той или иной степени наш разум и воля принимали участие в самых что ни на есть случайных событиях. Вы были недостаточно собранны, когда поскользнулись на улице, недостаточно осмотрительны, когда переходили площадь, плохо отдавали себе отчёт в своих возможностях, когда попытались спуститься на лыжах с крутой горы. Спору нет, происшедшее несчастье – событие случайное, то есть в одинаковых (вроде бы) условиях один поступает так, что для него все оканчивается благополучно, а другой платится за свои действия.

Существует, например, некоторая вероятность печального события сломать ногу, спускаясь на лыжах с «Приюта одиннадцати» на Эльбрусе. Эта вероятность есть сложная функция от способностей лыжника, от погоды, снежного покрова, лыж и многого другого. Так или иначе многолетняя статистика знает, из какого числа лыжников ломает ногу один. Кто же будет этот один? Самый несчастливый? Да не совсем так! Надо думать, что ничего подобного не произойдёт с теми горнолыжниками, которые знают свои силы и умеют быть собранными в моменты опасности. И печальный жребий выпадет тому, кто плохо владеет лыжами, неосмотрителен, у кого малый объём внимания. Кому-то из них, конечно, повезёт – их минует опасность, а кто-то расплатится за свои недостатки, и... статистика работает.

Итак, вряд ли стоит пенять на случай в событиях, которые, пусть частично, вполне случайны. В нашей воле было попасть в ту группу людей, для которой вероятность беды

измеряется хоть и малыми, но всё же значимыми дробями.

Ещё менее разумно становиться фаталистом из-за того, что, например, вы попали в один поезд метро со своей будущей супругой. То, что случайное знакомство привело к браку, ведь не означает, что вашим поводом был случай. У вас обоих было время и присмотреться друг к другу, полюбить, и подумать о браке. Что же касается случая, который мог бы вас и не свести в метро, то при всём моем уважении к вашему счастливому браку я не могу думать, что эта встреча была столь уж важной для вашей жизни.

– Да, а если бы я её не встретил? – спросите вы.

– Ну что ж, встретили бы другую. Теория половинки разломанного яблока (только две подходящие во всём мире) наверняка несправедлива. Со стороны ваш счастливый или несчастный брак выглядит следующим образом. Для людей вашего склада, возраста, социального положения и так далее имеется некоторая характеристика – гауссова кривая «степени счастливого» брака. Эта кривая наверняка имеет довольно острый средний пик. Скорее всего ваш брак типичен для людей вашей группы. И в то же время есть вероятность, что вы будете счастливее «среднего супруга», и есть вероятность, что вы будете менее счастливы, чем он. Зависит ли от вашей воли и разума, в какую часть гауссовой кривой попадёт ваша судьба? Без сомнения.

Роль случая в жизни каждого из нас в общем не так-то велика. Случай придаёт жизни конкретные черты. Но общая схема, «генеральный» вид остаются теми же, несмотря на извивы судьбы.

У О. Генри есть такой рассказ (нетипичный для этого писателя). Герой подъехал к перекрёстку, от которого идут три дороги. Рассказаны три судьбы, три путешествия по разным дорогам. Герой живёт разными жизнями, но оказывается, что это одна жизнь – с теми же моральными взлётами и падениями, с теми же счастьем и горем, с той же концовкой; так сказать, одна мелодия в разных оркестровках. Проиллюстрировать это положение мне хотелось бы примером, наиболее близким мне: я хотел бы рассказать, как я стал физиком, изучающим строение вещества.

Совсем мальчишкой я уехал строить медеплавильный комбинат на Урале, который превратился в конце концов в город Красноуральск. То, что я уехал из Москвы из-под крылышка родителей, конечно, не случайно: такова была обстановка в 1929–1930 годах, таково было воспитание, подходящим был мой характер. А то, что я уехал именно в Красноуральск, было делом случая: туда уезжала девушка, в которую я был влюблён.

Труд рабочего был тяжёлым и непривычным мне. Поэтому, когда стройка закончилась, я вернулся в Москву: разумеется, в этом не было случайности.

В Москве я поступил работать лаборантом в институт цветных металлов: понятно, почему именно в этот институт – ведь до этого я работал на стройке медеплавильного завода.

Спустя некоторое время захотелось учиться. Куда же пойти? В технические вузы в то время было трудно попасть, а в университет легко. Но на какое отделение? Я выбрал металлофизику. Лишь заканчивая университет, я почувствовал, что меня влечёт теоретическая работа и притом такая область знания, где побольше «белых пятен». В университете меня обучали методам исследования структуры металлов, и я подумал о том, а нельзя ли этими же методами изучать структуру веществ, о которых тогда не было ровно никаких сведений, – структуру органических веществ.

Однако об этих возможностях думал не только я, но и некоторые прозорливые химики. Я искал работу, а они подыскивали работника. Столкновение произошло быстро и естественно. Так я встал на рельсы, по которым движусь всю свою научную жизнь.

Был ли во всём этом элемент случайности? Без сомнения. Но ясно одно, если бы моя карьера началась на автомобильном заводе или на строительстве плотины, то все равно мои индивидуальные качества, помноженные на полученное воспитание, привели бы меня к теоретической работе в области физики, механики или химии. Я мог бы стать специалистом в области гидродинамики или энергетики. Внешне судьба казалась бы иной, а по сути дела той же самой.



Итак, автор отрицает роль случая в жизни каждого из нас? Нет, не совсем. Случайности в судьбе каждого из нас имеют, безусловно, место. Но разум и воля вносят существенную коррективу в роль случайностей, которые встречаются на жизненном пути. Если без них жизнь изобразить в виде прямой линии, то со случайностями она будет иметь изгибы, волны, а то и петли. Но общее направление линии остаётся неизменным – оно предопределено нашим «я» и средой, где мы живём.

Если со всеми этими оговорками мы соглашаемся признать роль случая в индивидуальных судьбах, то уж никак нельзя согласиться с тем, что случайности оказывают существенное влияние на ход истории.

Историю делают люди. Поскольку реакции их на любую обстановку являются закономерными в том смысле, который мы уже неоднократно обсуждали (ложатся на гауссову нормальную кривую), и так как количество человеческих судеб, решающих историю, очень велико, то статистика больших чисел приводит к однозначному результату.

Ход истории в классовом обществе определяется взаимоотношениями классов, интересами классов. Чтобы эти фразы не казались лишёнными содержания (какие там классы, когда миллионы людей имеют каждый свою судьбу, желание и возможности), вспомните статистическую природу стимулов к поступкам. Вполне правомерно говорить об интересе, о стремлении и реакции класса или группы людей именно потому, что все характеристики и оценки поведения их ложатся на гауссовы кривые с достаточно острым максимумом.

В зависимости от обстоятельств, в которые попадают коллективы, положение вершины гауссова колокола будет сдвигаться, то есть, проще говоря, настроение массы людей меняется, как бы следуя одному дыханию. Знать и понимать статистические закономерности, приводящие к поразительному единению мыслей и эмоций класса людей, – важнейшее свойство политического деятеля.

Вспомните слова В. И. Ленина о том, что необходимость и возможность вооружённого восстания созревают к определённом дню: вчера было рано, завтра будет поздно. В основе этого политического лозунга лежит точный расчёт момента, к которому наступит классовое единство и которое, в свою очередь, есть строгое следствие закона превращения случайностей в необходимость.

Но не будем вторгаться в область исторического материализма, представленную сотнями и тысячами превосходных книг. Остановимся на частном примере, а именно на проблеме случайного и неизбежного в научных открытиях.

В науке тоже есть и «невезучие» и «счастливчики». Вот как были открыты рентгеновские лучи – «икс-лучи», как их называл сам Рентген.

Лучи икс

Профессор Вильгельм Конрад Рентген взглянул на часы, и у него испортилось настроение. Было уже восемь вечера, совсем стемнело, а он обещал жене быть дома в половине восьмого, чтобы встретить вместе с ней госпожу советницу Винтерлебен. Рентгену было скучно с гостями, которые время от времени собирались у них в доме, однако он считал, что гости – это крест, который хочешь не хочешь, а нести надо. А раз надо, то и рассуждать не о чём. Кроме того, Рентген любил свою семью, и меньше всего ему хотелось огорчать супругу. Но и увлекательную работу бросать не хотелось. В общем было из-за чего огорчиться. Профессор вздохнул, снял халат, повесил его на вешалку, набросил чёрное покрывало на газоразрядную трубку, повернул выключатель, расположенный около двери, и последний раз оглядел заставленную приборами лабораторную комнату. Взгляд привычно обежал столы, шкафы и стены. Рентген уже собирался переступить порог, но какой-то беспорядок, какая-то необычность обратила на себя внимание. Ну да, вот это светящееся пятно на столе около трубки, с которой он только что работал. Немедленно подошёл он к предмету, привлёкшему его взгляд. Светилась часть экрана, которым пользуются для обнаружения флуоресценции. Такой экран – это картон, покрытый с одной стороны платиносинеродистым барием. Вещество это светится, если на него падают ультрафиолетовые лучи или катодные лучи (что было обнаружено сравнительно недавно), которые, как показал его коллега профессор Ленард, представляют собой, видимо, пучок электронов. Правда, существование этих самых электронов вещь сомнительная и, во всяком случае, недоказанная. Не надо хорошему физику пользоваться словами, засоряющими строгий научный язык.

Все это быстро промелькнуло в голове Рентгена, пока другой участок мозга фиксировал странности обнаруженного явления.

Экран лежит картоном кверху, а светится. Трубка... Да, трубка работает: он забыл выключить катушку Румкорфа – питание газоразрядной трубки. Проверим. Он выключил катушку, экран медленно погас. Включил. Экран засветился опять. Как странно, неужто катодные лучи проходят через чёрное сукно, которым покрыта трубка, и через картон экрана? До сих пор он считал, что эти материалы поглощают катодные лучи. Надо ещё раз это проверить. Катодные лучи отклоняются под действием магнитного поля, поля самого обыкновенного подковообразного магнита. Катодный пучок им можно отвести далеко в сторону, в сторону от экрана.

Пока мозг размышлял, руки уже действовали. Они помещали магнит вблизи экрана в разное положение, но результат был нулевой: экранчик безмятежно светился тем же синеватым светом. Значит, значит... Значит, это что-то новое, какие-то неизвестные лучи, исходящие из трубки. Рентген надел халат... Пусть фрау Винтерлебен считает, что профессор Рентген плохой семьянин, а его жена – несчастная женщина.

Признаюсь, детали описанной сцены я выдумал, но главное верно. Открытие произошло потому, что совпало несколько случайностей. Рентген забыл выключить трубку; рядом с трубкой лежал экранчик; на трубку было наброшено сукно. Но на все эти случайности наложилось одно отнюдь не случайное обстоятельство: Вильгельм Конрад Рентген был великолепным физиком-экспериментатором, внимательным и вдумчивым естествоиспытателем с зорким взглядом, чутким ухом и нервным настроем, держащим мозг в состоянии непрерывной боевой готовности. Неслучайным был и тот интерес к явлению газового разряда, который захватил многих физиков, действовавших в разных университетах мира в последнее десятилетие прошлого века.

Интерес этот был вызван практической важностью электрического освещения, но затем переместился в область разгадывания тайн природы. Катодные лучи были фактом интересным, но туманным. Чтобы понять их природу, надо было множить исследования их свойств. Поэтому в лабораториях изготовлялись разные трубки и велось изучение всевозможных действий этих лучей. Исследование флуоресценции вещества под действием катодных лучей, как представлялось вполне справедливо большинству физиков, должно было в существенной степени помочь уяснению электронной теории строения вещества.

К электронной гипотезе многие физики относились скептически. Но тем не менее ряд серьёзных фактов говорил о том, что она не так уж глупа. Как бы то ни было, тщательные исследования воздействия катодных лучей на вещество были на повестке дня. Так что газоразрядные трубки и светящиеся экраны стали более или менее обычным атрибутом физических лабораторий. Из всего этого видно, что открытие новых лучей носилось в воздухе и дело было за талантливым и внимательным физиком-экспериментатором.

Конечно, открытие Рентгена в какой-то мере было случайным. Но оно назрело, и если бы в этот день, который мы описали, он закончил бы свою работу засветло и фрау Винтерлебен не была бы разочарована в его супружеской внимательности, то все равно открытие было бы сделано либо тем же Рентгеном позднее, либо другим физиком, но непременно талантливым.

Итак, право же, не так уж много во всём этом деле приходится на долю случая. То, что Рентген принадлежал к числу физиков, достойных внимания «госпожи удачи», совершенно отчётливо видно из его научных трудов и рассказов его современников. За короткий период Рентген опубликовал три работы о свойствах новых лучей. Эти сочинения оказались настолько исчерпывающими, что в течение долгих лет, пожалуй, до 1912 года, к ним нечего было добавить. И это притом, что внимание к икс-лучам, как назвал «свои» лучи Рентген, было огромным. Достаточно сказать, что за один-два года после сообщений Рентгена появилось около тысячи публикаций-исследований лучей Рентгена (огромное для того времени число), и все они не внесли в проблему буквально ничего нового.

Рентген установил законы поглощения лучей; выполнил образцовые снимки, просвечивая свою руку, а также различные предметы, прячущие внутри себя металл. Фотографии Рентгена по качеству ничуть не уступают самым лучшим сегодняшним снимкам. Нечего и говорить, что оба пути использования лучей – в медицине для диагностики и в промышленности для обнаружения скрытых дефектов – были очевидны для Рентгена. Но он считал себя чистым естествоиспытателем, каким и был на самом деле, не интересовался прикладными свойствами икс-лучей и даже не подумал о том, чтобы взять патент на открытие, которое могло бы принести ему миллионы. Закончив исследования свойств рентгеновских лучей, он перешёл к изучению других проблем физики и выполнил ещё целый ряд превосходных работ.

Совершенно великолепные человеческие качества Рентгена нам хорошо известны из воспоминаний покойного академика А. Иоффе, который долгие годы жил в Германии, был учеником Рентгена, работал в его лаборатории и часто бывал у него дома.

Упорно занимаясь исследованием новых лучей, Рентген установил, что они возникают при встрече катодного луча с препятствием, и придал рентгеновской трубке целесообразную форму. В то время физики пользовались так называемыми откачиваемыми трубками (в наши дни трубки откачиваются до полного вакуума и наглухо запаиваются, как электрическая осветительная лампа). Против накаливаемой током нити помещается массивный металлический цилиндр – анод. Электроны, истекающие с нити накаливания, ускоряются полем высокого напряжения, наложенным на трубку (между катодом и анодом), и с силой ударяются о «зеркало» анода. Ударившись об анод, они выбивают из него вот эти новые, рентгеновские лучи, которые сам Рентген назвал икс-лучами. Их можно диафрагмировать, создавать из них пучки и заставлять их проходить через разные тонкие щели. Подобные манипуляции с ними производят для того, чтобы увидеть, отклоняются они от прямого пути или нет. Если бы такое отклонение обнаружилось, то было бы доказано родство новых лучей со световыми. Но новые лучи не отклонялись щелями, не преломлялись, не отражались от обычных зеркал. И природа их оставалась неясной, а значит, и спорной.

Лучи эти могли быть потоком частиц, а могли быть и волнами неизвестного до сих пор сорта. Не противоречило опыту и предположение, что лучи принадлежат к семейству электромагнитных волн, то есть все же находятся в родстве со световыми волнами. Для этого надо было предположить лишь, что длина волны новых лучей значительно короче лучей световых. Сам Рентген отсутствие отклонения новых лучей от прямолинейности – отсутствие дифракции – объяснял тем, что они являются продольными электромагнитными волнами.

Можно ли измерять расстояния между атомами?

Мне придётся ещё раз отклониться от главной темы книги и напомнить читателю, что такое дифракция и как физики измеряют длину волны.

Пусть какое-то неизвестное излучение падает на некий «частокол», представляющий собой правильное чередование щелей и непрозрачных участков. Просочившись сквозь щели, оно продолжает свой путь дальше.

В зависимости от того, что были за лучи и что представлял собой забор, возможны такие варианты поведения: лучи идут прямо; лучи отклоняются во все стороны; лучи отклоняются только в некоторых строго определённых направлениях. В первом случае говорят, что лучи не рассеиваются «частоколом», во втором – что они рассеиваются; в третьем – что имеет место явление дифракции.

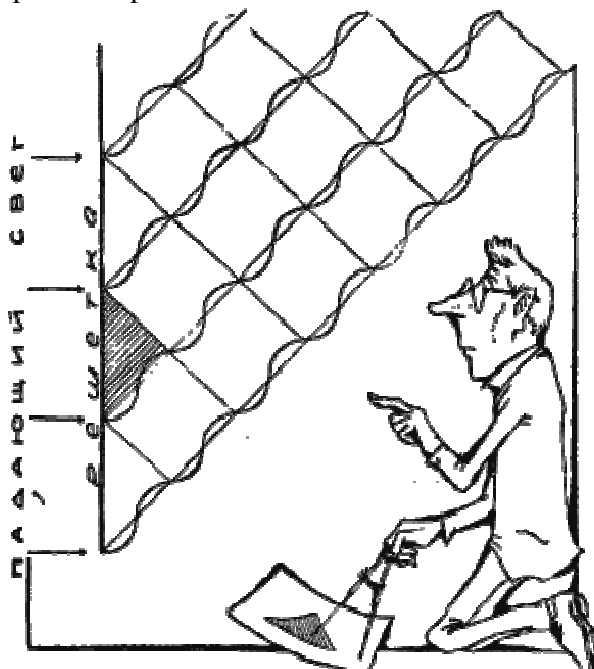
Если на пути лучей, прошедших сквозь такую преграду, поставить фотографическую пластинку, то после проявления её в первом случае мы увидим только следы неотклоненного луча; во втором – обнаружится размытый след; а в третьем, самом интересном случае, рядом со следом прямого луча мы должны обнаружить на фотопластинке отдельные резкие следы отклонённых лучей. Это и есть дифракционная картина.

Если явление дифракции неизвестного излучения будет обнаружено, то этим будет доказана его волновая природа. Из данных опыта несложными рассуждениями, к которым мы сейчас перейдём, можно вычислить длину волны излучения.

Знакомство с дифракцией видимого света происходит в школе. Там вам, читатель, показывали маленькое стёклышко, в центре которого матовое прямоугольное пятно. Это и есть дифракционная решётка. На стёклышке нанесено множество параллельных штрихов. Расстояния между штрихами (прозрачная часть) совсем малые – доли микрона. Сами штрихи – непрозрачная часть.

Направим на решётку параллельный пучок лучей света и посмотрим, что произойдёт.

На экране, установленном на пути прошедшего через решётку луча, возникает красивая цветная картина. Ярче всего виден, разумеется, след неотклоненного луча, а по бокам от него возникают радужные полосы. Их несколько. Та полоса, что ближе всего к неотклоненному лучу, называется спектром первого порядка.



А теперь поставим на пути первичного луча цветной фильтр. Картина теряет в красоте, но выигрывает в ясности: на экране видны след неотклоненного луча и чёткие следы отклонённых одноцветных лучей, которые расположились симметрично – вправо и влево от прямого направления на одинаковые углы.

Угол отклонения первого из дифрагированных лучей несёт в себе информацию о длине волны света. Зная расстояние от решётки до экрана и измерив, на сколько сантиметров пятно отклонённого луча отстоит от центрального, мы без труда по формуле тангенса вычислим

значение этого угла.

А как, зная измеренный угол, вычислить длину волны света? На этот вопрос отвечает приведённая здесь простенькая схема. Отклонённые лучи возникают лишь в тех направлениях, где волны, выходящие из разных щелей, распространяются в одной фазе. То есть горбы всех одиночных волн должны образовать плоский фронт. Первый отклонённый луч возникнет тогда, когда волны, исходящие из каждой щели, будут отставать от соседок на одну свою длину.

Из схемы ясно, что три величины жёстко связаны между собой: расстояние между щелями, длина волны и угол отклонения. У меня был соблазн написать простое тригонометрическое уравнение, которое связывает эти три величины, но я воздержался. Главное, чтобы читателю было понятно следующее: из непосредственно измеряемых величин (расстояние между щелями и угол отклонения) может быть вычислена длина волны излучения.

Нетрудно сообразить (для этого надо лишь внимательно посмотреть на рисунок), что отклонение будет тем меньше, чем меньше отношение длины волны к расстоянию между щелями.

Значит, результат дифракционного эксперимента – его удача или провал – зависят от соотношения между длиной волны и расстоянием между щелями. Если расстояние между щелями «частокола» много больше длины волны, то мы не заметим дифракции: все отклонённые лучи ничтожно мало отойдут от прямого пути. Напротив, если расстояние между щелями значительно меньше длины волны, то обнаружится рассеяние, но дифракции опять не будет, хотя уже по другой причине. В первом случае распространение излучения происходит так, словно «частокол» и не стоит на дороге луча, а во втором – решётка щелей равноценна одной щели.

Как видим, опыт удаётся лишь в том случае, когда длина волны и расстояния между щелями решётки близки друг к другу. А что значит «близки»? Это когда длина волны раз в десять меньше расстояния между щелями, и лишь тогда дифракционный опыт удаётся.

Как мы уже говорили, Рентген не обнаружил дифракции икс-лучей. Открытие дифракции рентгеновских лучей – важнейшее событие в истории науки, положившее начало проникновению исследователей в атомное строение вещества, – было сделано в Мюнхене, куда профессор переехал вскоре после обнаружения самих лучей (а оно было сделано в Вюрцбурге).

История обнаружения дифракции также весьма поучительна для демонстрации того, как иногда случайность совершается с железной необходимостью. Открытие состоялось в результате совпадения нескольких независимых событий. Место и время этого совпадения никак нельзя назвать случайным. Было естественным, что именно в Мюнхене, где кафедра физики возглавлялась Рентгеном, внимание физиков к проблемам рентгеновских лучей было пристальным. Понятно, что здесь был накоплен большой опыт, а потому именно в этом университете были лучшие по тому времени источники рентгеновских лучей.

Рентген стремился всем своим влиянием и высоким положением содействовать повышению уровня преподавания и исследований, проводившихся на кафедре физики Мюнхенского университета. Он привлекал для работы лучших учёных. Будучи сам экспериментатором и придавая весьма большое значение высокому уровню теоретической физики, он всячески проповедовал единство этих двух взаимно обогащающих подходов к изучению физических явлений. И не только проповедовал, но и настоял, чтобы ведущий физик-теоретик Арнольд Зоммерфельд занял кафедру теоретической физики. Большие надежды возлагал он и на молодого теоретика Макса Лауэ. Научные интересы этих и многих других учёных были в той или иной степени прикованы к проблеме рентгеновских лучей.

К физикам тянулись и кристаллографы, среди которых видным исследователем был Грот, аккуратный собиратель материалов о формах различных природных и синтетических кристаллов.

И уж совсем, казалось бы, не имел отношения к научным открытиям тот факт, что была в Мюнхене пивная Хофгартен, где почти все учёные систематически встречались и вели свои многочисленные беседы.

Можно ли считать случайным разговор, возникший о природе рентгеновских лучей между лицами, которых мы сейчас перечислили? Конечно, нет. Рассуждения Зоммерфельда об электромагнитном происхождении рентгеновских лучей; идеи Грота о том, что кристаллы

должны иметь периодическое строение из составляющих их частиц; блестящая работа по теории взаимодействия электромагнитных волн с кристаллом, сделанная молодым теоретиком Эвальдом, явились тем фоном, на котором предложение Лауэ поставить на пути рентгеновских лучей кристалл и попытаться обнаружить дифракцию совсем не кажется случайным.

Все собеседники, присутствовавшие при этом историческом событии, соглашались с тем, что атомы в кристалле расположены на расстояниях, соизмеримых с длиной волны рентгеновских лучей, если только понятие «волна» к этим лучам применимо. Однако сомнение вызывало то обстоятельство, что кристалл – это не «частокол», не линейная решётка щелей, а если и решётка, то трехмерная. И большинство полагало, что чёткой картины, возможно, и не будет. Лишь Макс Лауэ утверждал, что картина обязательно возникнет и, как рассказывает А. Ф. Иоффе, поспорил с остальными на коробку шоколада.

Лауэ поручил провести эксперимент своему ассистенту Фридриху. Неясно было, где ставить фотопластинку, поскольку никто не знал, как должна происходить дифракция от пространственной решётки, построенной из атомов. Решили поместить её под углом девяносто градусов к падающему лучу.

Рентгеновскую трубку включали каждый день на много часов, проявляли одну пластинку за другой, пробовали менять положение пластинки, действуя примерно так, как мартышка с очками. Не получалось. Надо заметить, что третьим действующим лицом в этом ансамбле был некто Книппинг. В его обязанности входила работа по перемещению пластинок в новую позицию. Видимо, именно он явился орудием «его величества случая», ускорившим развязку пьесы. Небрежно выполняя указания руководителя эксперимента, Книппинг поставил пластинку не на указанном месте, а за кристаллом, на пути проходящего луча. К концу фотографирования пришёл Фридрих и обнаружил, что его распоряжение нарушено и, досадуя, велел пластинку выбросить и поставить новый опыт. Но вмешался опять «его величество случай» и, дёрнув кого-то из двоих за рукав, заставил проявить пластинку.

Так было сделано открытие.

Покажется, что случай сыграл здесь решающую роль. А по-моему, совершенно пустяковую. Рано или поздно даже бездумное перемещение фотопластинки увенчалось бы успехом. Но если бы этого и не случилось, то Лауэ, начавший разрабатывать математическую теорию явления, без сомнения, вывел бы условия дифракции, которые показали бы, где надо ставить пластинку, чтобы обнаружить эффект.

Наконец, если бы Лауэ заболел, а Книппинг был бы вполне аккуратным исполнителем, а Фридрих не допускал бы возможности другого подходящего места для пластинки, кроме как под прямым углом к лучу, то все это свелось бы к тому, что через полгода или год открытие дифракции было бы сделано в Англии отцом и сыном Брэггами. Брэгг-отец в то время придумывал самые разные подходы для исследования характера рассеивания рентгеновских лучей разными объектами и был также близок к обнаружению законов отклонения рентгеновских лучей.

Явление, о котором идёт речь, оказалось в 1912 году яблоком, вполне созревшим. Лёгкого дуновения ветра было достаточно, чтобы оно упало, и тайное сделалось явным. Пришла пора этому открытию, весь комплекс случайностей был существенным лишь для самого несущественного: месяцем раньше или месяцем позже; в Англии или в Германии; Лауэ или Брэгг. Разве это важно?

Два крупнейших научных открытия – открытие рентгеновских лучей и наблюдение дифракции этих лучей превосходно, как мне кажется, иллюстрируют эфемерную роль случайности в событиях такого рода.

Но число подобных примеров можно было бы умножить.

Делать этого мы, однако, не станем, а скажем лишь, что остановились мы на рентгеновских лучах не случайно, так как без знакомства с их дифракцией мы не доберёмся до структуры гена.

Радости и огорчения структурщиков

Есть большое семейство исследователей, которое называется структурщиками. Такого

слова в словаре нет, так как оно жаргонное, лабораторный слэнг, но распространённое. Физики, химики, биологи называют так тех, кто занят определением атомной структуры вещества, кто всей своей работой пытается ответить на вопрос: как вещество построено из атомов (как устроен сам атом интересует людей другой специальности).

В своей работе структурщики используют явление, открытое Максом Лауэ: наблюдают дифракцию рентгеновских лучей от кристалла, структуру которого хотят определить.

Как уже говорилось, при прохождении луча через кристалл на фотопластинке обнаруживается картина со множеством пятен – следов отклонённых (диафрагмированных) лучей. Если ставить кристалл под разными углами к лучу, то каждый раз мы будем фиксировать другие пятна. Всего от кристалла средней сложности можно получить несколько сот или даже несколько тысяч разных дифракционных пятен. Расстояния между пятнами, а также их интенсивность хранят богатейшую информацию о структуре всего кристалла и составляющих его молекул. Но извлечь из таких картин сведения о пространственной конфигурации одной молекулы и о взаимном расположении всех оказывается задачей совсем нелёгкой и, естественно, тем более трудной, чем сложнее химическая формула молекулы.

Насколько задача определения структуры кристалла (трехмерное тело) сложнее нахождения расстояния между щелями дифракционной решётки (двухмерный объект), простейшего примера использования дифракционного опыта для определения геометрии объекта, поясним на таком сравнении.

Аналогом кристалла в двумерном мире, очевидно, будет «решётка» обоев. Пусть на обоях в детской комнате изображены девочки, играющие с мячом. Все девочки и все мячи, разумеется, совершенно одинаковы. Художник мог по-разному расположить этих девочек: либо одну над другой, либо с каким-то сдвигом, либо по три девочки в вершинах треугольника и т.д. Короче говоря, девочки могут быть расположены, или, как говорят в отношении молекул, упакованы по-разному. Вполне понятно, что при описании обоев вовсе недостаточно лишь указать расстояния между девочками и их взаимное расположение; нужно знать, как нарисована девочка: какое у неё платье, какие кудряшки, какой мячик и где он находится. Так и для кристаллического вещества нужно знать не только упаковку молекул, но и знать, как построена молекула. А получить эти сведения во много раз труднее, чем измерить расстояние между девочками на обоях и описать их вид. Кристалл построен из молекул, которые вполне аккуратно, то есть периодически, заполняют пространство, образуя трехмерную пространственную «решётку». В какой же связи находятся пятна на рентгенограмме (так называется пластинка, на которой зафиксированы дифракционные пятна) с упаковкой молекул и строением каждой молекулы?

Если говорить о принципиальной стороне дела, то ответить на этот вопрос легко. Только что при помощи простого рисунка мы пояснили, как появляются соотношения между углом отклонённого луча и расстоянием между щелями дифракционной решётки. Природа связи между рентгеновской дифракционной картиной и структурой вещества та же самая.

Но количественное усложнение – переход от простой линейной последовательности рассеивающих объектов (щелей) к сложнейшему пространственному рисунку атомов, берущих на себя роль рассеивающих центров, – воистину грандиозное.

Уже давно решение математических задач поручено вычислительным машинам. Сотрудничая с математиками-программистами, я не раз пытался объяснить сущность радостей и горестей структурщиков.

Как правило, такие собеседования выглядели примерно так. Прежде всего я выписывал на листе бумаги основные математические уравнения (они были получены уже самим Лауэ).

– Данные опыта, – пояснял я программисту, – это сведения о направлении отклонённого луча и его интенсивности. Вот соответствующие символы.

– Ясно, – следовал ответ.

– Нам нужны данные о структуре.

– В каком виде?

– Конечно, нужны координаты атомов. А ещё лучше, если бы машина рисовала трехмерную картину; есть же аналоговые машины. Пусть картина будет условная: атомы – это точки, а силы связи – штрихи.

– Но позвольте! – вглядываясь в написанные мной уравнения, говорит программист. – Не морочьте мне голову рисунками, у вас тут дела посложнее: уравнения-то не решаются!

– Ну, не совсем так, – говорю я со вздохом. – Все же решаются, но не в нужную вам сторону.

Дело в том, что характер этих уравнений таков, что, решив их, можно представить себе интенсивность и направление лучей (то есть можно составить суждение о виде рентгенограммы), если известна структура. Но нам-то надо решить обратную задачу – по виду рентгенограммы установить расположение атомов. А это вот и не получается. Проблема «квадратного корня» – так называл я в лекциях эту проклятую трудность, мешающую превратить богатейшую опытную информацию в чёткие картины структуры.

Уравнение $y = x$ решается только в одну сторону. Если известен y (скажем, плюс пять), то недвусмысленно вычисляется x (будет 25). Если же имеются сведения об x (25), то y может равняться плюс 5 и минус 5. У структурщиков же не одно такое уравнение, а тысяча, и с помощью рентгенограммы можно найти тысячу разных игреков с точностью до знака.

Ситуация досадная, и, несмотря на то, что этим методом были определены структуры простейших молекул, специалистам в области рентгеноструктурного анализа стало понятно, что, если проблема решения этих уравнений повиснет в воздухе, толку от метода не будет.

Пока задачи были несложными, трудность обходили самым простым способом. Так, если уравнения не позволяют переходить от рентгенограммы к структуре, то они неплохо прокладывают путь от структуры к рентгенограмме. Этим обстоятельством мы и пользовались.

– Вот эта структура кажется мне весьма логичной, произведите, пожалуйста, расчёт рентгенограммы, – прошу я сотрудника.

На следующий день сопоставляем полученный расчёт с опытными данными.

– Ничего похожего! – с нескрываемым удовольствием говорит коллега. – Я ведь говорил, что этот атом кристалла надо посадить вот сюда.

– Посадите, – говорю я мрачно.

Так, внося небольшие изменения в рисунок «обоев» (подвинув мяч, изменив форму кудряшек, удлинив платице) и сравнивая расчёты с опытом, пытаемся приблизиться к истине. Действуя этим методом, который англичане назвали образно методом «проб и ошибок», в конце концов добиваемся удовлетворительного совпадения расчётов с опытом. Минусов в такой работе два, и значительных. Во-первых, даже мало-мальски сложные случаи требуют колоссальных расчётов. Во-вторых, всё время остаётся сомнение, что есть и другие решения, которые не хуже сходятся с опытом, но остались нами не замеченными.

Было придумано множество математических ухищрений, которые облегчали задачи. Но довольно долгое время проблема казалась почти неразрешённой. Значительный шаг вперёд был сделан в середине тридцатых годов. Теоретически было показано, что уравнения решаются более или менее достоверно в нужную нам сторону (от рентгенограммы к структуре) в случае, если исследуемая молекула содержит один тяжёлый атом, и тогда проблему «квадратного корня» удаётся обойти. Но что делать, если интересующая нас органическая молекула не содержит таких атомов? Ввести?! Химики, если захотят, легко могут провести эту операцию. Но вводить такой атом надо умело, чтобы не испортить вид молекулы.

В разных случаях это приходится делать по-разному: один раз тяжёлый атом-метку выгодно крепить в одном месте молекулы, другой раз – в другом. Так получают «меченые» вещества, которые обычно и решают задачу.

Метод «тяжёлого атома» и метод «проб и ошибок» могут применяться совместно. Первый подсказывает исследователю-структурщику, какие модели молекул имеет смысл пробовать, а второй – позволяет ему более уверенно угадывать знаки квадратных корней.

Метод «тяжёлого атома» довольно простой и автоматичный, и его выполнение может быть легко запрограммировано для электронно-вычислительной машины. Но у него есть и недостаток – он не нагляден. Второй метод более творческий, требует хорошего знания всех закономерностей, наличия развитой интуиции и использует для наглядности модели. Кроме того, они по силам бедной лаборатории, не имеющей ещё ЭВМ.

Не приходится удивляться, что среди представителей класса структурщиков – в настоящее время их число во всём мире наверняка перевалило за десяток тысяч в зависимости от

способностей, темперамента и характера мы находим как сторонников игры на моделях, то есть любителей «угадать» структуру, так и лиц, полагающих необходимым следовать некоторой строгой процедуре, не содержащей в себе произвольных выдумок.

Сказать, какой из этих двух характеров «лучше», разумеется, нельзя. Можно привести примеры великолепных успехов, достигнутых на обеих дорогах. Превосходной иллюстрацией могут быть как раз работы по изучению структуры биологических веществ. Нобелевская премия за первое определение структуры белковой молекулы была присуждена Макс Перутцу, который потратил почти четверть века на расшифровку рентгенограмм различных производных белка, помеченных тяжёлыми атомами. И та же Нобелевская премия за открытие структуры гена была дана Уотсону и Крику, которые достигли успеха, угадав структуру, играя на моделях.

Есть ли у науки история?

Каждое открытие в науке есть результат слияния множества логических линий, опытных исследований и теоретического мышления. Я представляю себе историю науки в виде огромного листа белой бумаги, по которому невидимые руки чертят одновременно сотни, тысячи кривых, прямых, зигзагообразных, ломаных, всяких линий, и каждая из них, несмотря на повороты, упрямо следует своему направлению. Потом какие-то две линии встречаются, затем к ним прибавляется третья, четвёртая, так постепенно создаётся тот мощный поток, который несёт в себе весь опыт и всю мудрость знания, которое и есть Наука.

Слияние линий даёт открытие. Оно неизбежно, и момент его в небольшой степени случаен. Оглядываясь назад, мы поражаемся тому бесконечному числу тоненьких ручейков, без которых было бы невозможно решающее пересечение.

Прослеживая ход всех линий, берущих своё начало в глубине веков, при желании можно перекинуть мост от законов Ньютона и Менделеева к открытию молекулярного строения гена. Но такие рассуждения могут показаться формальными. Чтобы получить яркую картину рождения открытия, достаточно включить в круг внимания несколько поколений его предков. Так, к ответу на вопрос, что такое ген, привели вот какие линии: развитие метода дифракции рентгеновских лучей; развитие представлений о пространственном строении молекул и кристаллов (впрочем, тесно переплетающихся с прогрессом рентгеноструктурного анализа); развитие биохимических исследований строения составных частей живой клетки, прогресс описательной генетики.

Свидетелем и участником самых первых шагов науки в области применения дифракции рентгеновских лучей к изучению строения органического вещества был я сам. Эта важнейшая часть истории интересующего нас открытия началась в тридцатых годах. Да, всего лишь каких-нибудь тридцать-сорок лет тому назад. Получается так, что человек лет пятидесяти с небольшим хвостиком, по заверениям геронтологов только что покинувший период юности, который длится до пятидесяти лет (зрелый возраст – сообщаю для сведения молодых читателей, которым сорокалетние кажутся дряхлыми старцами, – длится от пятидесяти до семидесяти лет, после чего наступает старость, которая длится сколько бог даст), может писать историю науки.

На первый взгляд это может показаться странным. Но только на первый взгляд. Небольшой экскурс в статистику поможет понять, в чём тут дело.

Социологи, изучающие так называемый прогресс общества, характеризуют его временем удваивания. Оказывается, самые различные события, такие, как число технических изобретений и число автомобильных катастроф, число новых городов и количество людей, умирающих от инфаркта, число научных работников и расходы на вооружения – все это может быть изображено кривыми геометрической прогрессии. А свойство прогрессии, как известно ещё со школьной скамьи, состоит в том, что имеется возможность характеризовать рост, происходящий в геометрической прогрессии, временем удваивания. Времена удваивания населения, научных работников, телевизоров, мощности взрыва бомб, энергии электронов, достигаемой в ускорителях, числа разводов, числа сочинённых стихотворений и так далее и тому подобное, разумеется, резко отличаются друг от друга. Одни параметры растут медленно, другие уменьшаются, третьи растут быстро.

Однако замечательным является то обстоятельство, что время удваивания сохраняется

одним и тем же во все времена, насколько нам удаётся заглянуть в глубь истории. Можно составить таблицы времён удваивания для разных стран, можно это делать для мира в целом.

Нижеследующие числа относятся ко всему миру, а значит, носят весьма усреднённый характер.

Население, рабочая сила, число университетов удваивается за 50 лет.

Число важных открытий, точность инструментов, число учащихся на тысячу человек населения удваивается за 20 лет.

Число научных статей, число учёных со степенями удваивается за 15 лет.

Число телефонов, число инженеров, скорость транспорта удваивается за 10 лет.

Магнитная проницаемость железа, число международных телефонных разговоров удваивается за 5 лет.

Нас интересует научная деятельность человечества и прежде всего рост числа научных работников. Число удваивания, которое мы привели для научных статей (оно равно 15 годам), справедливо и для числа научных работников. На первый взгляд оно может показаться скромным. Но займёмся арифметикой. В XVIII веке лица, которых можно было назвать научными деятелями, встречались весьма редко. Во всяком случае, их можно было перечислить по фамилиям. Медленный рост привёл к тому, что в 1800 году в США было примерно 1000 человек, занимающихся наукой. Через 15 лет их стало 2 тысячи; ещё через 15 лет – 4 тысячи и ещё через 15 лет – 8 тысяч. Как видите, удваивание за 15 лет означает примерно удесятерение за 50 лет. Итак, к 1850 году одна тысяча породила 10 тысяч, к 1900 году 10 тысяч превратились в 100 тысяч, и к 1950 году мы имели, округляя, один миллион научных деятелей в одних только Соединённых Штатах.

Этот постоянный мерный рост (а не взрыв, как по неведению считают многие) с удваиванием научной деятельности каждые 15 лет приводит нас к следующему интересному заключению. У науки практически нет истории, она почти вся осуществлена за время жизни одного поколения. Судите сами. Будем считать, что срок деятельности учёного равен 45 годам. Так как каждые 15 лет число научных работников удваивается, то это значит, что за время научной жизни нашего седовласого современника в науку вошло 7 новых деятелей ($1 + 2 + 4$), то есть 87,5 процента.

Итак, примерно девяносто процентов научных работников, живших от Адама до наших дней, живы по сегодняшней день. Не мудрено, что главные успехи науки, которые позволили ей стать производительной силой, достигнуты на глазах одного поколения. Вот почему теперешний пятидесятипятiletний-шестидесятилетний учёный может считать себя очевидцем почти всей истории науки и приступить к рассказу об истоках открытия структуры молекул, управляющих жизнью на Земле.

Как уже упоминалось, я решил заняться исследованием структуры органических веществ методом рентгеновской дифракции потому, что эта область была «белым пятном» на карте науки. На самом деле пятно это уже начали тогда зачернять англичане и американцы; но я об этом не знал, и мои университетские наставники говорили, что таких научных работ им встречать в журналах не приходилось.

В 1935 году, когда я кончал Московский университет, шла интенсивная работа по созданию задуманного Алексеем Максимовичем Горьким гиганта медицинской науки. Максим Горький предполагал собрать в одном учреждении представителей всех разделов физиологии, биологии, физической химии, органической химии и физики, нацелив их на исследование жизненных процессов. Так был создан Всесоюзный институт экспериментальной медицины (ВИЭМ). Под одной крышей трудились многие специалисты.

Физиологи вели работу с подопытными животными (бесперывный лай собак под окнами моей лаборатории в памяти у меня по сие время). Психологи донимали всех сотрудников института своими бесконечными тестами на сообразительность, на объём внимания, на ассоциативное мышление, на находчивость, на быстроту реакции и ещё бог знает на что; испытывалось влияние на все эти качества самых разных факторов: и утомляемости, и времени года, и влияния темноты, и электрических полей, и высоты над уровнем моря, для чего организовывались желанные экспедиции на Эльбрус. Химики занимались выделением и изучением белков, веществ, вызывающих рак, исследовали лечебные свойства различных

веществ: природных и синтетических. Физики занимались широчайшим кругом вопросов: от исследования влияния пения на зрение до конструирования счётчиков ионизирующего излучения. Работа кипела.

В одном из отделов ВИЭМа было решено наладить изучение строения биологически важных веществ различными физическими методами. Это направление возглавлялось биохимиком С.Р. Мардашевым. В основу этих работ была положена идея – от простого к сложному. Тогда никто не мечтал в обозримом будущем исследовать структуру таких огромных и сложных молекул, как белки. Что же касается нуклеиновых кислот, то о них химики имели вообще самое смутное представление. Но знали, что белок построен из полипептидов, а полипептиды состоят из аминокислот, следовательно, с них и надо начинать.

Эта абсолютно правильная идея, которая и привела в конечном счёте к успеху в решении структурной проблемы в биологии, начала разрабатываться примерно тогда же и в США Лайнусом Полингом.

Масштаб – сто миллионов

Во время второй мировой войны наша страна и Америка находились далеко не в равном положении. Относительно скромное участие США в войне разрешало им не только не свёртывать, но даже развивать теоретические научные исследования, которые не имели непосредственного отношения к военному потенциалу.

Совсем не так было у нас. Исследования, не работавшие на оборону, были прекращены, и лаборатории, повернуть которые на военные дела было невозможно, поддерживались в состоянии своего рода анабиоза. Их не закрывали, так как помнили, что наступит победный конец войне, и мирились с тем, что некоторые силы, необходимые потом, существуют в состоянии спячки. Два-три научных работника, представляющие ту или иную область, сохранялись так, как в голодные годы берегут семена будущего урожая...

Вернувшись к науке после войны, я продолжал прерванную работу так, будто не было четырехлетнего перерыва. Но, конечно, все мы очутились в весьма невыгодной по отношению к нашим заокеанским коллегам позиции. Они ушли вперёд.

Чтобы ликвидировать отставание в тех областях науки, которые были необходимы для сохранения нашей страной её высокого положения на мировой арене, были отпущены огромные средства. Что же касается физиков, работа которых не имела отношения ни к атомной энергии, ни к полупроводникам, то им пришлось заниматься в основном разработкой теорий, поскольку для этой цели нужны лишь бумага да карандаш и можно, хотя и с сожалением, обойтись без дорогостоящей аппаратуры. А что, если добавить к письменным принадлежностям несколько килограммов воска, газовую горелку и пару металлических формочек? Зачем? Да чтобы изготавливать шарики, которые должны были изображать атомы в масштабе один к ста миллионам, и из них строить модели молекул.

Как выглядит модель молекулы? Представим себе модель молекулы нафталина. В масштабе сто миллионов один ангстрем превращается в сантиметр, и молекула нафталина, состоящая из восемнадцати атомов, уместится на ладони. Красивая молекула. Глядя на такие модели, можно поразмыслить над тем, как молекулы упаковываются в твёрдом теле, увидеть и понять, как такая молекула повёрнута по отношению к соседней и как подходит к ним третья молекула.

Возясь с моделями, можно убедиться, что проще собрать из моделей структуру и вместо словесного описания привести фотографии. Но сколько надо было приложить усилий, чтобы в кустарных условиях наладить отливку шариков, готовить из них срезы, скреплять все это воедино, сверлить в них отверстия, чтобы они надевались на стерженьки, укреплять молекулы на штативах, чтобы можно было их поворачивать друг к другу под любыми углами.

Года через два работа с моделями начала приносить плоды. Результат был осязаемый и окупал затраченные труды с лихвой. Рассматривая упаковки органических молекул в кристаллах для тех немногих случаев, где характер взаимного расположения молекул был заранее установлен, удалось подметить важный закон: оказалось, что молекулы упаковываются плотнейшим образом. Для проверки этой гипотезы нужно было предсказать упаковку молекул в

структурах, которые были ещё неизвестны. Это было сделано, и последующие опыты подтвердили справедливость принципа, обладающего большой эвристической ценностью.

Так наметился новый путь поиска неизвестной структуры, и стало ясно, что молекулярные модели являются не только наглядным пособием, но и средством исследования.

В конце сороковых годов в жизнь начали входить синтетические полимерные материалы. Поскольку население планеты стало одеваться в нейлон и капрон, другие же синтетические вещества приобрели важнейшее значение в промышленности, то их структура стала предметом исследования многих лабораторий мира. Прежде всего по этой причине, а также потому, что полимерные вещества обладали рядом особенностей, интересных для естествоиспытателей, на эти работы стали отпускать побольше средств.

Молекулы полимерных материалов – это молекулы-гиганты. Большей частью они представляют собой линейные последовательности, цепочки атомов, достигающие иногда феноменальной для мира атомов длины – порядка микрона.

С самого начала казалось очевидным, что представления о молекуле как о физическом теле помогут решить множество вопросов в химии молекул-гигантов. На одном из первых всесоюзных съездов, посвящённых этим веществам (начало пятидесятых годов), я демонстрировал свои игрушки, изображавшие полиэтиленовые молекулы. Каждая из них была длиной с полметра. Она изгибалась и крутилась как змейка, ибо (это следовало из многих фактов) части её, соединённые ординарной химической связью (одним валентным штрихом), могли поворачиваться около линии этой связи. Таких «шарнирных» связей в молекуле много, поэтому она и извивается, принимая самые причудливые формы. Показывалось много моделей, и все они опровергали бытовавшее тогда мнение, будто в полимерных материалах цепи молекул беспорядочно перепутаны. Перекручивая модельки, можно достаточно убедительно показать, что, во-первых, в спутанных цепях неминуемо образуется огромное число больших пустот, отчего сильно уменьшается плотность вещества (а это противоречит опыту), и, во-вторых, невозможно объяснить поведение легко кристаллизирующихся полимеров таким допущением.

Как выяснилось позже, очень интересное применение молекулярным моделям нашёл Полинг. В его лаборатории систематически исследовались структуры аминокислот. В процессе этого исследования, а также для иллюстраций полученных результатов широко использовались объёмные модели молекул. Белок, как известно, построен из последовательно соединённых аминокислотных остатков. Что может быть естественнее попытаться собрать из моделей аминокислот кусочек белковой молекулы?



Эта задача была выполнена Полингом в начале пятидесятых годов. Из срезанных

шариков-атомов, скреплённых друг с другом стерженьками, была собрана так называемая альфа-спираль. Полинг показал, как изящно и непринуждённо складываются атомы в устойчивое спиральное образование. Из этой модели следовали геометрические размеры: шаг спирали, диаметр спирали, которые могли быть сверены с данными рентгеноструктурного анализа уже не аминокислот, а самих белковых молекул.

Работы по упаковке молекул и работы Полинга по изучению формы молекул подхватили многие исследователи. К этому времени уже не надо было доказывать, что успешная работа в области исследования структуры сложных органических веществ должна состоять из комбинации рентгеноструктурного анализа и работы с моделями. Но всё же деление структурщиков на «ригористов» и «авантюристов» сохранилось. Одни исследователи полагали, что модели надо использовать лишь для проверки результатов, полученных строгим академическим путём, другие считали, что решение сложных проблем обязательно надо начинать с моделей.

При определении структуры гена встретились исследователи обоих кланов, и проблема в конечном счёте была решена атакой с двух сторон.

Двойная спираль

Открытие химической природы генетического материала было сделано учёными, изучавшими передачу наследственности у микроорганизмов. Этим веществом оказалась дезоксирибонуклеиновая кислота, которую, чтобы не ломать язык, называют ДНК (дээнка). ДНК содержится в хромосомах всех клеток.

Фундаментальным обстоятельством, добытым исследователями, является то, что при делении клетки количество ДНК удваивается, и притом совершенно точно. Каждое новое существо возникает благодаря слиянию так называемых гамет. Гаметы образуются из половых клеток. Половая клетка, как и всякая клетка, состоит из парного числа хромосом. При её делении все пары расходятся и каждая гамета получает по одному представителю каждой хромосомной пары. При делении половой клетки и образовании гамет наблюдается уменьшение количества ДНК вдвое.

Эти и некоторые другие сведения, полученные рядом выдающихся генетиков и бактериологов к сороковым годам, позволили достаточно уверенно ставить знак равенства между проблемой структуры гена и задачей определения структуры молекулы ДНК. Во всяком случае, такого мнения держался молодой американский микробиолог Джим Уотсон, когда прибыл на стажировку в Европу в 1951 году.

Уотсон не сразу нашёл то самое место, вероятно единственное, где были люди, которые могли ему помочь и принять участие в решении задачи, важность которой ему была очевидна. Этим местом оказалась лаборатория Брэгга, младшего из двух Брэггов, которые 40 лет назад открыли метод рентгеноструктурного анализа, показав, что этот метод позволяет найти расположение атомов в таких «сложнейших» кристаллах, как поваренная соль. Кстати, лаборатория эта сохранила за собой мировое первенство в области определения структур кристаллов с помощью рентгеновских лучей, и все другие английские лаборатории, занимающиеся теми же проблемами, отпочковались в своё время от лаборатории Брэгга.

У Брэгга Джим Уотсон нашёл коллегу – физика Фрэнсиса Крика, с которым и приступил к исследованиям. Двухлетняя совместная их работа привела к открытию структуры ДНК.

Ко времени начала дружбы Уотсона и Крика была обнародована работа Полинга по структуре белковой альфа-спирали. Именно это исследование и привело Уотсона и Крика к мысли, что атака на структуру ДНК должна быть сделана тем же методом. Они решили конструировать возможные модели ДНК и сравнить параметры полученных моделей с экспериментальными данными, полученными в другой лаборатории Морисом Уилкинсом и Розалиндой Франклин.

Работа была начата не на пустом месте. Самое главное, им был ясен сам принцип работы с моделями. Атомы надо было размещать так, чтобы они не налезали друг на друга, чтобы вся большая молекула сворачивалась на себя как можно компактнее. При этом нельзя допускать искажения расстояний между химически связанными атомами, не надо также портить и

валентные углы.

Что же касается порядка, в котором соединены атомы в огромной линейной молекуле ДНК, то здесь практически все нужные сведения уже были установлены химиками. Было известно, что ДНК – полимерная молекула. Единицей строения её является нуклеотид, который состоит из соединённых друг с другом фосфатной группы, сахарной группы и основания. Чередуя фосфатных и сахарных групп строится основная цепь этой полимерной молекулы. Основания являются привесками. Было известно, что эти привески бывают четырех сортов: аденин и гуанин – частицы побольше размером, и цитозин и тимин – частицы меньшего размера.

Можно было предполагать, что сахарно-фосфатная часть цепи строго регулярна. Что же касается оснований, то они обязательно должны быть распределены вдоль цепи совершенно нерегулярным образом. Уотсон и Крик уже с самого начала предполагали, что именно в этом разнообразии возможных расположений оснований вдоль цепи молекулы и кроется разнообразие генов.

Собрав модель кусочка молекулы, можно было убедиться в том, что далеко не все конфигурации цепи возможны. Вдохновлённые примером Полинга исследователи ДНК поняли, что и эта молекула образует спираль. Но, конечно, это был не единственный довод. Ещё в самом начале своей деятельности Уотсон получил рентгенограмму ДНК, в которой Крику, великолепному знатоку теории дифракции рентгеновских лучей, удалось увидеть признаки спирального образования.

Сопоставление с более обширными и тщательными опытными данными Уилкинса и Франклин показало, что одной спиралью не обойдёшься. Диаметр спирали, который определялся по рентгенограммам, требовал, чтобы в образовании структуры участвовало несколько спиралей. Существовали некоторые доводы, что таких спиралей должно быть три штуки. Следовательно, надо было скрутить три спиральные молекулы и припасовать их друг к другу так, чтобы удовлетворить требованиям насыщения всяческих сил, действующих между основаниями этих трех спиралей.

Теперь, когда разгадка известна, кажутся совершенно непонятными попытки Крика и Уотсона найти решение в трехспиральном варианте. А на это был потрачен целый год. Лишь после многолетних проб Уотсону пришла в голову мысль: а может быть, спиралей не три, а две?

Проба двойной спирали почти немедленно увенчалась успехом. Модель получилась изящной, естественной и включала в себя важные открытия других исследователей, а именно данных Франклин о том, как расположены фосфатные группы и замечания Доногю о том, какая связь между аденином и тиминном является наиболее подходящей. Просто невозможно было допустить ошибку: уж очень «хорошо» и притом единственным способом припасовывались друг к другу две тождественные цепочки, составляющие двойную спираль.

Таким образом двойную спираль можно раздрать на части, но если предоставить двум цепочкам соединиться вновь, то они повторят в точности первоначальное взаимное расположение. Именно это обстоятельство и является ключом к пониманию процесса деления клетки и передачи наследственности.

Достаточно представить себе, что в какой-то момент времени двойная спираль расщепляется на две совершенно тождественные цепи. Теперь каждая молекулярная цепь начинает работать как матрица, которая собирает на себе из окружающего сырья (фосфатные группы, сахарные группы, основания) точно такую же молекулу.

Так можно понять образование двух молекул из одной, а значит, и механизм деления клетки. Репликация гена – так называют это явление.

В 1962 году Джеймс Уотсон вместе с Фрэнсисом Криком и Морисом Уилкинсом получили в полном согласии со своим уверенным ожиданием Нобелевскую премию в области медицины и физиологии за самое крупное открытие в области генетики, произошедшее со времён Менделя. Вскоре после этого Уотсон выпустил в свет книгу под названием «Двойная спираль», посвящённую истории этого открытия, то есть событиям, разыгравшимся в течение 1951–1953 годов.

Эта книга, изданная в 1968 году (русский перевод в 1969 году), имела большой успех. Она

несколько недель фигурировала в списках бестселлеров наравне с самыми увлекательными модными романами. Успех объясняется тем, что книгу могут читать и лица, не разбирающиеся в структурной химии. Они могут пропускать странички, в которых ведётся разговор о водородных связях и взаимодействии ионов, и читать с полным вниманием ту основную часть, которая с редкой непосредственностью и откровенностью описывает взаимоотношения между людьми, участвовавшими в этом открытии.

Все участники пьесы (кроме одного) живы и здравствуют и могли бы также рассказать, как это все получилось. Однако вряд ли в ближайшее время кто-либо возьмётся за перо для этой цели. Двойная спираль – геометрический образ молекулы ДНК – потеряла литературную невинность, и трудно соревноваться с Уотсоном, который пишет живо, образно, занимательно.

Надо сказать, правда, что задача автора в изложении предмета исследования сильно облегчается идейной простотой научной проблемы. Поиск структуры молекулы ДНК, как мы уже говорили, заключался в увлекательнейшей игре с атомными моделями – шариками на проволочках, проволочками, скреплёнными пружинками, или кусочками деревянных шариков, соединённых штифтами. Надо было собрать такую модель молекулы, которая объясняла бы имевшийся к тому времени довольно скудный эксперимент. Повесть о пробах и ошибках на этом пути умело чередуется с рассказом о различных путешествиях и встречах автора (как отчётливо видна из этой книги колоссальная катализирующая способность встреч и бесед учёных разных стран, разных профессий и разных наклонностей в развитии науки; до чего узко и близоруко то начальство, которое считает, что сотрудник должен находиться у своего лабораторного стола, не «болтаться» по конференциям и коллоквиумам, создаваемым непрерывно во всех уголках мира).

Но, конечно, главная причина, которая помогла Уотсону создать из описания научного поиска увлекательное литературное произведение, состоит в том, что вместе с автором в книге действуют несколько ярких персонажей, сложные взаимоотношения между которыми имеют самую прямую связь с открытием структуры ДНК. Во-первых, далеко не просты отношения между Криком и Уотсоном, играющими «в шарики», и Морисом Уилкинсом и Розалиндой Франклин – работниками другого научного учреждения, – которые являются обладателями экспериментальных данных по ДНК. Опытные сведения необходимы нашим главным действующим лицам, опыт и только опыт может направить идеи по правильному руслу и помочь выбрать из сотен схем одну правильную. Но авторы эксперимента Морис и Роза сами хотят пожинать плоды своих усилий. Не так-то интересно затратить годы труда, чтобы пара жонглёров атомами-шариками заслужила мировое признание.

И другая острая психологическая ситуация под стать авантюрному роману. На другом берегу океана знаменитый Лайнус Полинг также трудится над созданием модели гена. И, казалось бы, преимущество должно быть на его стороне, так как совсем недавно он показал, что работой с атомными моделями можно существенно продвинуться в понимании структуры белков. Англичане не хотят отдать пальму первенства американцам. Итак, идёт гонка за Нобелевской премией, ибо ясно, что успех в решении столь значительной задачи будет увенчан самым огромным лавровым венком.

И эти два конфликта не исчерпывают ситуацию. Не гладкими поначалу являются взаимоотношения Крика с директором лаборатории сэром Лоуренсом Брэггом. Внедрение американского юноши в английский круг также требует некоторого приспособления.

Науку делают люди, и их склонности и темперамент, стремления и принципы, входят в игру наряду с математическими формулами и физическими приборами. Вот это и удалось показать Уотсону в своей книге.

По заслугам...

Ну а как же насчёт роли случая в открытии структуры ДНК? Невелика эта роль. Если ещё в открытии Рентгена и Лауэ поклонники «госпожи удачи» выловят несколько незначительных фактов, подчёркивающих роль случайных совпадений, то в исследовании Уотсона и Крика улов будет уж совсем ничтожным. Однако наш сюжет донельзя ярко показывает, что открытие – это не выигреш автомобиля по лотерее. Действительно, личные достоинства владельца билета в

выигрыше никакой роли не играют, это уж точно. Что же касается тех, на чью долю выпало счастье сделать крупное научное открытие, то они по праву заслужили свою славу.

– С этим никто не спорит, – возразит мне читатель. – Но ведь имеются и другие достойные люди. То обстоятельство, что из сотни достойных судьба выбрала именно вот этого одного, – это уже прихоть случая. Почему открытие произошло в Англии и в начале пятидесятых годов? С таким же успехом оно могло произойти в другой стране и в другое время.

Нет, категорически не согласен я с подобным мнением. Открытие структуры гена закономерно. Оно произошло в тот момент, к которому оно созрело, и в том месте, в котором на него обращали внимание. А что касается участников открытия, то их выбор был практически единственным.

Судите сами, время – начало пятидесятых годов, можно ли было за десять лет до этого срока сколько-нибудь серьёзно думать, что закономерности в строении вещества могут быть продемонстрированы в масштабе один к ста миллионам с помощью деревянных, металлических или пластмассовых моделек? Конечно, нет. Ведь о плотной упаковке молекул в кристаллах и компактной структуре макромолекулы люди узнали лишь в 1945–1948 годах, и только в самом конце сороковых годов Полинг доказывает эвристичность работы с моделями для сложных биологических систем на примере альфа-спирали белка.

Но этого мало. Вряд ли кто-либо рискнул взяться за возню с шариками и стерженьками, если бы не была видна возможность проверки найденной модели. А ведь только в сороковых годах были получены первые рентгенограммы ДНК; теоретические же расчёты, показывающие возможность нахождения параметров спиралей по рентгенограммам, были начаты лишь за несколько лет до работы Уотсона и Крика.

Так же точно и важнейшие химические находки, позволившие уверенно наметить порядок присоединения различных химических групп, образующих ДНК, были сделаны также в последние десятилетия.

И наконец, лишь к этому времени стала крепнуть уверенность в том, что явления наследственности связаны с молекулой ДНК.

Все эти линии исследований пересеклись только к пятидесятому году. Открытие не могло быть сделано раньше, а интерес к проблеме был настолько значительным, что было бы невероятным также, если бы оно задержалось.

Не случайно, что открытие было сделано в Англии. Именно здесь вполне естественно произошла встреча биолога Уотсона с нужным ему физиком. Но почему этим физиком оказался именно Крик? Прочтите внимательно книгу Уотсона, и вы поймёте, что Крик был одним из трех-четырех возможных претендентов на будущую Нобелевскую премию. А может быть, даже и единственный, если поставить вопрос так: кто в это время в Англии проявлял одинаковый интерес к структуре биологических веществ и к теории рентгеноструктурного анализа?

Выходит, что выбор Уотсоном подходящего коллеги был крайне ограниченным.

Ну а почему Уотсон? На этот вопрос, пожалуй, трудно ответить. Ясно лишь одно – к пятидесятым годам неминуемо должен был найтись биолог, удовлетворяющий трём требованиям: талантливость (не стоит определять, что это такое, чтобы не завязнуть в понятиях), интерес к молекулярной природе гена и понимание, что один в поле не воин и что для решения проблем молекулярной биологии надо найти коллегу в стране физиков. Этим требованиям удовлетворял Уотсон. Можно ли по этой причине назвать его баловнем судьбы? Конечно, нет. Своим успехом он обязан своим разуму и нервной системе...

Мы попытались ответить на вопрос, почему структуру гена открыли Уотсон и Крик. Можно попробовать объяснить, почему избранныком судьбы не стал Полинг или кто-нибудь ещё.

Как говорилось, Полинг искал ответ на вопрос о структуре гена одновременно с будущими победителями. Мне кажется, что он был слишком самонадеян в этом поиске. Успех с альфа-спиралью в белках заставил его думать, что он сумеет найти ответ, лишь играя с моделями. Полинг не был связан с экспериментаторами, владевшими рентгенограммами нуклеиновых кислот. В теории рентгеноструктурного анализа он не был опытен, а привлечь на помощь кого-либо из знатоков этой теории ему, видимо, не хотелось. За эти предположения профессор Лайнус Полинг, я надеюсь, не будет на меня в обиде. В конце концов это ему

комплимент, так как он не сделал этого открытия, конечно, не из-за нехватки таланта.

Так что, просмотрев все возможности, мы приходим к заключению, что открытие структуры гена так же, как, впрочем, и другие научные открытия, произошло тогда, когда оно должно было произойти, и было оно сделано теми людьми, которые больше всего заслуживали благосклонного отношения «госпожи удачи».

Структура гена

Написав название параграфа, я задумался, что делать дальше. Рассказать о структуре ДНК относительно несложно, но ведь у меня иная цель – объяснить читателю, каков атомный механизм формирования наследственных признаков. А посильная ли эта задача? Дорога от структуры ДНК даже к цвету глаз, не говоря уже к складу характера, очень длинная и тернистая. Местами она превращается в тропинку, а то и вовсе прерывается непроходимыми оврагами.

О колоссальных успехах биологической физики за последние десятилетия я хорошо знал и тем не менее решил посоветоваться с узким специалистом, превосходно знающим молекулярную биологию.

– Могу ли я пренебречь некоторыми деталями, неясностями, противоречиями и ограничиться изложением концепции «один ген – один фермент»? – спросил я его.

– Положение не совсем так формулируется, – ответил он. – Сейчас говорят «один ген – одна полипептидная цепь».

– Но можно мне не входить в эти детали? Принцип ведь мало меняется, а нашим читателям, мне думается, интересно знать лишь общую идею.

– Пожалуй, можно, – согласился коллега.

И я решил ограничиться ответом на небольшое число вопросов, которые мне кажутся важнейшими.

Вопрос первый: в каком взаимоотношении находятся ген и молекула ДНК?

Оказывается, ген – это не молекула. Ген – кусочек молекулы. Одна молекула содержит в себе множество генов, расположенных один за другим.

Молекулы ДНК видны в электронный микроскоп и кажутся узенькими длинными палочками. Чтобы правильно представить себе соотношение длины и ширины этой молекулы, вспомните железнодорожный рельс километровой длины.

Как уже говорилось выше, молекула представляет собой линейный остов, к которому привешены в сумбурном порядке азотистые основания четырех типов: А, Г, Т и Ц.

Так вот, один ген – это участок цепи ДНК, который состоит примерно из полутора тысяч этих оснований. Специфичность гена, то есть то, что этот ген имеет отношение к цвету глаз, а не к форме носа или что он человеческой особи, а не кошки, определяется порядком в расположении А, Г, Т и Ц. Можно сказать, что каждый ген характеризуется на молекулярном языке фразой, состоящей из полутора тысяч букв.

А как определить, где кончается один ген и начинается другой? – спросите вы. Вопрос законный, и на него есть ответ. Так же как в азбуке Морзе, на четырехбуквенном языке азотистых оснований существует символ, соответствующий точке, которая отделяет один ген от другого. Вас может заинтересовать количество генов в одной ДНК.

Считается, что их, вероятно, примерно десять тысяч; и каждая человеческая особь характеризуется десятью тысячами признаков. Но ведь на Земле живёт около четырех миллиардов людей, а признаков всего лишь десять тысяч, как же быть с этим несоответствием?

Число разных вариантов генных структур будет необозримо больше, чем четыре миллиарда ($4 \cdot 10^9$). Действительно, если каждый ген может выступить в двух разновидностях (голубые глаза – карие глаза), то число этих структур будет равно 2^n по той же причине, по которой число вариантов распределения «красного» и «чёрного» в случае пяти рулеточных игр равно 2^5 . Много ли это – два в степени десять тысяч? Порядочно. Так как два в десятой степени равно примерно одной тысяче, то 2^{10000} будет равно 10^3 – единица с тремя тысячами нулей. А это число «чутью» больше четырех миллиардов. Комментарии нужны? Пожалуй, нет.

Теперь надо сказать несколько слов о работе гена и пояснить таинственную формулу «один ген – один фермент».

Какая ткань в организме вырастет из клеток, определяется в первую очередь белковыми молекулами – ферментами, фабрикуемыми генами. Каждый ген создаёт одну определённую молекулу белка – один фермент. С помощью этого фермента и происходит строительство всего организма. При этом каждый фермент на редкость специализированный работник. Один фермент устанавливает, образно говоря, только стекло форточки, что на кухне, другой ответствен за электрический выключатель в столовой комнате, третий – за левый водопроводный кран. Но как он это делает? К сожалению, ответить на этот вопрос сейчас просто невозможно. Пришлось бы писать другую книгу, более профессиональную и более проблемную. А эту надо кончать. Мне остаётся сказать лишь несколько общих слов.

Открытие структуры ДНК и механизма репликации гена явилось мощным толчком для развития молекулярной генетики. Множество явлений получило истолкование на молекулярном уровне, ряд фактов был успешно предсказан. Не надо, конечно, представлять себе, что с этим открытием внесена уже достаточная ясность в понимание всех жизненных процессов. Напротив, надо честно признаться, что в этом направлении сделаны лишь первые шаги. Тем не менее важность открытия Уотсона и Крика огромна уже хотя бы потому, что для всех естествоиспытателей стала очевидной справедливость интерпретации жизни на молекулярном уровне и, следовательно, возникла уверенность в принципиальной возможности вмешательства химическими и биохимическими методами в формирование потомства. Когда человечество приступит к этой задаче, грандиозность которой заставляет ёжиться, и приступит ли к её выполнению вообще, сказать трудно. Но в то же время вся история развития науки показывает, что науку не остановишь. А это означает, что, как только будет изучено устройство молекулы ДНК и установлен порядок следования оснований в молекуле конкретной особи (пока что нет такого способа), на повестку дня станет вопрос о подправке структуры молекулы ДНК. Но дальше простирается область предположений. Авторы фантастических романов уже достаточно наэксплуатировали сюжет создания новых животных и нового человека, поэтому не стоит лишать их возможности стяжать новые лавры и самое время поставить точку.

Итак...

Мой гость Александр Саввич сидел в кресле, попыхивал трубкой и наблюдал за тем, как я тружусь. Я правил свою рукопись. Работа шла к концу.

– О чём речь на последних страницах?

– О структуре гена.

– Какое же отношение это имеет к теме книги?

– Я рассказал о случайностях в наследовании признаков. Надо же было показать, как это замечательное явление объясняется атомной структурой живого вещества.

– А по-моему, это задача другой книги.

– Скажи на милость, какой поборник линейности сюжета! Это тебе не детектив.

– Стройная сюжетная линия всегда считалась достоинством любого литературного произведения, – назидательно сказал Александр Саввич.

– Не знаю, где это считалось. Посмотри любой классический роман, и ты увидишь, что сюжет всегда смахивает на ветвистое дерево: есть главная линия, но имеется и множество ответвлений.

– Но если даже и так, то все боковые сюжеты должны служить одной цели.

– Ну что ж, это справедливо. Именно так старался поступать и я.

– Ничего ты не старался. Твоя тема – вероятность.

– Да нет, не совсем так. Моя тема та же, что и в моих предыдущих популярных книгах, – научный метод мышления. Пропаганда этого метода, демонстрация его силы, попытка убедить читателя, что только с помощью этого метода можно трезво оценивать и жизнь общества, и свою собственную судьбу, – в этом я вижу их задачу.

– Позволь, позволь, а название книги?

– Ты не дал мне закончить. Я же не повторяюсь в своих книгах. В этой я решил показать

читателю, как работает один важнейший элемент научного мышления – вероятностный подход к событиям. Это ствол дерева. Но если кое-где я уходил в сторону от сюжетной линии, то все же оставался в рамках главной задачи – показа могущества научного метода мышления.

Мой друг молчал. Он листал рукопись, читал некоторые страницы. Я следил за выражением его лица – ведь он один из первых читателей! – стараясь поймать хоть крошечную похвалу.

– Концовка нужна! – сказал Александр Саввич.

– Нужна, – уныло согласился я. – А что писать? Повторить уже сказанное?

– Чего сомневаешься? Можно подумать, что чтение научных диссертаций не является твоей повседневной работой.

– При чём тут...

– Диссертации заканчиваются выводами. Напиши выводы. Твои коллеги будут довольны. Поймут, что хоть ты и пытаешься заняться литературой, но всё же свято хранишь привычки научного деятеля.

– Гм... может, и правда попробовать.

Выводы

1. Детальным рассмотрением в книге самых различных примеров, взятых из жизни и науки, показано, что почти всюду приходится сталкиваться со случайными событиями.

2. В ней дано новое (переставлен порядок слов и иначе расставлены знаки препинания) определение понятия случайного события.

3. Ярко показана польза от теории вероятностей для суждения о таких случайных явлениях, как автомобильные катастрофы, смерти и рождения, встречи и расставания. Основная мысль, обсуждаемая здесь, состоит в следующем: по мере увеличения числа повторяющихся случайных событий предсказания общего результата становятся все более достоверными, а при очень большом их числе случайности складываются в незыблемые закономерности. Автор вынужден отметить, что несколько другими словами эта мысль была ранее высказана в других романах, научных очерках и диссертациях.

4. Неоднократно подчёркивается огромная роль закона больших чисел. Практическое значение этого закона основывается на том, что мы живём в мире миллиардов молекул, миллиардов повторяющихся событий, миллиардов генов, миллиардов людей и животных.

5. В книге показана целесообразность введения количественных оценок в областях науки, трактующих о добре и красоте. Демонстрируется возможность и польза введения вероятностных подходов для решения некоторых проблем эстетики и этики.

6. Продемонстрировано...

Александр Саввич смотрел через моё плечо, пока я отстукивал эти строки.

– Хватит, – сказал он. – Становится скучно. Что ещё есть в книге, читатель увидит по оглавлению, а ты лучше скажи мне следующее: каково воспитательное значение твоей книги?

– На эту тему я размышлял. Вот мой ответ. Вероятностный подход к жизни воспитывает гражданские чувства. В том, чтобы вероятность автомобильной катастрофы была минимальной, в том, чтобы среднее число краж, происходящих за год, стремилось бы к нулю, в том, чтобы вероятность детской смертности неуклонно падала, я заинтересован как член общества. Небрежное отношение к этим достижениям как к чему-то, что меня не касается, есть проявление эгоцентризма, нежелательного в обществе.

Вероятностный подход ко всем явлениям, происходящим в мире молекул и мире людей, приучает человека думать о себе не только как о неповторимом «я», но также как о члене общества, члене коллектива. Человек, лишённый этой мысли, чувствует себя безнадежно одиноким и потерянным в сложном мире. Человек иного воспитания, такой, который ощущает не только своё «я», но и свою принадлежность обществу, становится не простой единицей, а социальной единицей – умножает себя на сотни тысяч. И поэтому становится счастливее.

Я пытался увидеть на лице друга одобрение. Если оно и было, он мне его не показал и лишь сказал:

– Ты забыл, чем заканчиваются выводы.

– Ах да. Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность своему другу за полезную беседу, своему редактору за труд, в результате которого рукопись приобрела такой вид, а также будущим читателям за терпение и снисходительность.