

ЧЁРНЫЙ ЯЩИК НАУКИ



ЭРВИН ШРЁДИНГЕР

КВАНТОВЫЙ КОТ
ВСЕЛЕННОЙ

Эрвин Шредингер

Квантовый кот вселенной

«Алисторус»

1944, 1961

УДК 355/359
ББК 63.3

Шредингер Э.

Квантовый кот вселенной / Э. Шредингер — «Алисторус»,
1944,1961

ISBN 978-5-906979-28-5

Эту книгу называют философским завещанием Эрвина Шредингера. В ней изложено мировоззрение ученого-естественника, который оказал значительное влияние на развитие современной физики. Все возможно ровно до тех пор, пока не сделан выбор. Представьте, что у вас есть ящик с радиоактивным ядром и емкостью с ядовитым газом. Вероятность того, что ядро распадется и приведет в действие механизм, открывающий емкость, составляет 50 %. Если в этот ящик поместить кота и закрыть его, возникнет парадокс Шредингера. Согласно квантовой механике, если над ядром не производится наблюдения, то его состояние описывается смешением двух состояний – распавшегося и нераспавшегося ядра, следовательно, кот, сидящий в ящике, и жив, и мертв одновременно. Для тех, кто хочет знать больше, для тех, кто осмелится выяснить, в чем именно заключается парадокс теории Шредингера, для тех, кто хочет узнать, что такое жизнь с точки зрения физики, великий ученый написал свое последнее и лучшее произведение.

УДК 355/359

ББК 63.3

ISBN 978-5-906979-28-5

© Шредингер Э., 1944,1961

© Алисторус, 1944,1961

Содержание

Предисловие	5
Что такое жизнь?	8
Вступление[1]	8
Подход классического физика к предмету	10
Конец ознакомительного фрагмента.	18

Эрвин Шредингер

Квантовый кот вселенной

Предисловие

Один из самых знаменитых физиков XX века Эрвин Рудольф Йозеф Александр Шредингер (нем. Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger) родился 12 августа 1887 года в Вене и умер там же 4 января 1961 года. При этом Шредингер отнюдь не был домоседом, его жизнь годами была кочевой и беспокойной. Он работал в Цюрихе, Штутгарте, Берлине, Оксфорде и Дублине. Покинув Вену вскоре после окончания Первой мировой войны, Шредингер вернулся в родной город только в 1956 году, в зените славы.

Шредингер был одним из создателей квантовой механики. Он получил Нобелевскую премию по физике в 1933 году. Был членом ряда академий наук мира, в том числе Академии наук СССР (1934).

Шредингеру принадлежит ряд фундаментальных достижений в области квантовой теории, которые легли в основу волновой механики: он сформулировал волновые уравнения (стационарное и зависящее от времени уравнения Шредингера), показал тождественность развитого им формализма и матричной механики, разработал волномеханическую теорию возмущений. Шредингер предложил оригинальную трактовку физического смысла волновой функции. Кроме того, он является автором множества работ в различных областях физики: статистической механике и термодинамике, физике диэлектриков, теории цвета, электродинамике, общей теории относительности и космологии; он предпринял несколько попыток построения единой теории поля.

Причем научные интересы Шредингера не ограничивались только физикой. В книге «Что такое жизнь?», представленной в нашем издании, Шредингер обратился к проблемам генетики, взглянув на феномен жизни с точки зрения физики. Также он уделял большое внимание философским аспектам науки, античным и восточным философским концепциям, вопросам этики и религии.

Книга «Что такое жизнь?» (1944) основана на лекциях, которые были прочитаны в дублинском Тринити-колледже в феврале 1943 года. Эти лекции и книга были созданы под впечатлением от статьи Николая Тимофеева-Ресовского, Карла Циммера и Макса Дельбрюка, опубликованной в 1935 году и переданной Шредингеру Паулем Эвальдом в начале 1940-х годов. Статья посвящена изучению генетических мутаций, которые возникают под действием рентгеновского и гамма-излучений и для объяснения которых авторами была разработана теория мишеней. Хотя в то время еще не была известна природа генов наследственности, взгляд на проблему мутагенеза с точки зрения атомной физики позволил выявить некоторые общие закономерности этого процесса. Работа Тимофеева – Циммера – Дельбрюка была положена Шредингером в основу его книги, которая привлекла широкое внимание молодых физиков. Некоторые из них под ее влиянием решили заняться молекулярной биологией.

Также Шредингер интересовался философией. Однако только после приезда в Дублин он смог уделить философским вопросам достаточно внимания. Из-под его пера вышел ряд работ не только по философским проблемам науки, но и общепhilosophического характера – «Наука и гуманизм» (1952), «Природа и греки» (1954), «Разум и материя» (1958) и «Мой взгляд на мир», сочинение, законченное им незадолго до смерти «Мой взгляд на мир» представлен в данном издании. Особое внимание Шредингер уделял античной философии, которая привлекала его своим единством и тем значением, которое она могла сыграть для решения проблем современности. Также Шредингер обращался к наследию индийской и китайской философии.

Он хотел с единых позиций взглянуть на науку и религию, человеческое общество и проблемы этики; проблема единства представляла один из основных мотивов его философского творчества. В работах, которые можно отнести к философии науки, он указывал на тесную связь науки с развитием общества и культуры в целом, обсуждал проблемы теории познания, участвовал в дискуссиях по проблеме причинности и модификации этого понятия в свете новой физики. В своих работах Шредингер последовательно отстаивал возможность объективного изучения природы.

Но больше всего Шредингер прославился своим мысленным экспериментом, получившим имя ученого – «Кот Шредингера». В статье Шредингера «Текущая ситуация в квантовой механике» (1935) эксперимент описан так:

«Можно построить и случаи, в которых довольно бурлеска. Некий кот заперт в стальной камере вместе со следующей адской машиной (которая должна быть защищена от прямого вмешательства кота): внутри счетчика Гейгера находится крохотное количество радиоактивного вещества, столь небольшое, что в течение часа может распасться только один атом, но с такой же вероятностью может и не распасться; если же это случится, считывающая трубка разряжается и срабатывает реле, спускающее молот, который разбивает колбочку с синильной кислотой. Если на час предоставить всю эту систему самой себе, то можно сказать, что кот будет жив по истечении этого времени, коль скоро распада атома не произойдет. Первый же распад атома отравил бы кота. Пси-функция системы в целом будет выражать это, смешивая в себе или размазывая живого и мертвого кота (простите за выражение) в равных долях.

Типичным в подобных случаях является то, что неопределенность, первоначально ограниченная атомным миром, преобразуется в макроскопическую неопределенность, которая может быть устранена путем прямого наблюдения. Это мешает нам наивно принять “модель размытия” как отражающую действительность. Само по себе это не означает ничего неясного или противоречивого. Есть разница между нечетким или расфокусированным фото и снимком облаков или тумана».

Согласно квантовой механике, если над ядром не производится наблюдение, то его состояние описывается суперпозицией (смешением) двух состояний – распавшегося ядра и нераспавшегося ядра, следовательно, кот, сидящий в ящике, и жив, и мертв одновременно. Если же ящик открыть, то экспериментатор может увидеть только какое-нибудь одно конкретное состояние – «ядро распалось, кот мертв» или «ядро не распалось, кот жив».

Вопрос стоит так: *когда система перестает существовать как смешение двух состояний и выбирает одно конкретное?* Цель эксперимента – показать, что квантовая механика неполна без некоторых правил, которые указывают, при каких условиях происходит коллапс волновой функции, и кот либо становится мертвым, либо остается живым, но перестает быть смешением того и другого.

Поскольку ясно, что кот обязательно должен быть либо живым, либо мертвым (не существует состояния, сочетающего жизнь и смерть), то это будет аналогично и для атомного ядра. Оно обязательно должно быть либо распавшимся, либо нераспавшимся.

Проще говоря: согласно квантовой механике, если над ядром атома не производится наблюдение, то его состояние описывается смешением двух состояний – распавшегося ядра и нераспавшегося ядра, следовательно, кот, сидящий в ящике и олицетворяющий ядро атома, и жив, и мертв одновременно. Если же ящик открыть, то экспериментатор может увидеть только какое-нибудь одно конкретное состояние – «ядро распалось, кот мертв» или «ядро не распалось, кот жив». Эксперимент Шредингера показал, что с точки зрения квантовой механики кот одновременно и жив, и мертв, чего быть не может. Следовательно, квантовая механика имеет существенные изъяны. Вопрос стоит так: *когда система перестает существовать как смешение двух состояний и выбирает одно конкретное?* Цель эксперимента – показать, что квантовая механика неполна без некоторых правил, которые указывают, при каких условиях происходит

коллапс волновой функции, и кот либо становится мертвым, либо остается живым, но перестает быть смешением того и другого. Поскольку ясно, что кот обязательно должен быть либо живым, либо мертвым (не существует состояния, промежуточного между жизнью и смертью), то это будет аналогично и для атомного ядра. Оно обязательно должно быть либо распавшимся, либо нераспавшимся

В этой книге мы приводим две этапные работы Шредингера: «Что такое жизнь?» (1944) и «Мой взгляд на мир» (1961).

Что такое жизнь?

Вступление¹

Человек свободный ни о чем так мало не думает, как о смерти, и его мудрость состоит в размышлении не о смерти, а о жизни.

Спиноза, Этика, ч. IV, теор. 67

Обычно принято думать, что ученый должен в совершенстве знать определенную область науки из первых рук, и поэтому считают, что ему не следует писать по таким вопросам, в которых он не является знатоком. Это рассматривается, как вопрос *noblesse oblige*². Однако для достижения моей цели я хочу отказаться от *noblesse* и прошу, в связи с этим, освободить меня от вытекающих отсюда обязательств. Мои извинения заключаются в следующем.

Мы унаследовали от наших предков острое стремление к объединенному, всеохватывающему знанию. Самое название, данное высочайшим институтам познания – университетам, – напоминает нам, что с древности и в продолжение многих столетий универсальный характер знаний был единственным, к чему могло быть полное доверие. Но расширение и углубление разнообразных отраслей знания в течение последних ста замечательных лет поставило нас перед странной дилеммой. Мы ясно чувствуем, что только теперь начинаем приобретать надежный материал для того, чтобы объединить в одно целое все, что нам известно; но с другой стороны, становится почти невозможным для одного ума полностью овладеть более чем какой-либо одной небольшой специальной частью науки.

Я не вижу выхода из этого положения (чтобы при этом наша основная цель не оказалась потерянной навсегда), если некоторые из нас не рискнут взяться за синтез фактов и теорий, хотя бы наше знание в некоторых из этих областей было неполным и полученным из вторых рук и хотя бы мы подвергались опасности показаться невеждами.

Пусть это послужит мне извинением.

Большое значение имеют также трудности с языком. Родной язык каждого является как бы хорошо пригнанной одеждой, и нельзя чувствовать себя вполне свободно, когда ваш язык не может быть непринужденным и когда его надо заменить другим, новым. Я очень благодарен д-ру Инкстеру (Тринити-колледж, Дублин), д-ру Падрайг Броуну (колледж св. Патрика, Мэйнут) и, наконец (но не меньше, чем другим), мистеру С.К. Робертсу. Им доставило много забот подогнать на меня новое одеяние, и это усугублялось еще тем, что порой я не хотел отказаться от своего несколько «оригинального» собственного стиля. Если что-либо из него сохранилось, несмотря на стремление моих друзей смягчить его, то это должно быть отнесено на мой, а не на их счет.

Первоначально предполагалось, что подзаголовки многочисленных разделов будут иметь характер резюмирующих надписей на полях, и текст каждой главы должен был бы читаться *in continue* (непрерывно)³.

Я очень обязан д-ру Дарлингтону и издателю Endeavour (Об-во имперских химических производств) за клише для иллюстраций. В них сохранены все первоначальные детали, хотя не все эти детали имеют отношение к содержанию книги.

¹ Пер. с англ. и послесловие А.А. Малиновского

² «Благородство обязывает» (*франц.*). В данном случае означает, что честь носить звание ученого обязывает не нарушать взятых на себя обязательств – судить как настоящему ученому лишь с полным знанием дела. (*Примеч. пер.*)

³ В оригинале книги многочисленные подзаголовки разделов даны среди текста. (*Примеч. пер.*)

Дублин, сентябрь, 1944. Э. Ш.

Подход классического физика к предмету

Cogito, ergo sum.
Descartes⁴

Общий характер и цели исследования

Эта небольшая книга возникла из курса публичных лекций, прочитанных физиком – теоретиком перед аудиторией около 400 человек. Аудитория почти не уменьшалась, хотя с самого начала была предупреждена, что предмет изложения труден и что лекции не могут считаться популярными, несмотря даже на то, что наиболее страшное орудие физика – математическая дедукция – здесь вряд ли может быть применена. И не потому что предмет настолько прост, чтобы можно было объяснить его без математики, но скорее, обратное – потому что он слишком запутан и не вполне доступен математике. Другой чертой, создающей по крайней мере внешний вид популярности, было намерение лектора сделать основную идею, связанную и с биологией, и с физикой, ясной как для физиков, так и для биологов.

Действительно, несмотря на разнообразие тем, включенных в книгу, в целом она должна передать только одну мысль, только одно небольшое пояснение к большому и важному вопросу. Чтобы не уклониться с нашего пути, будет полезно заранее кратко очертить наш план.

Большой, важный и очень часто обсуждаемый вопрос заключается в следующем: как могут физика и химия объяснить те явления в пространстве и времени, которые имеют место внутри живого организма?

Предварительный ответ, который постарается дать и развить эта небольшая книга, можно суммировать так: явная неспособность современной физики и химии объяснить такие явления совершенно не дает никаких оснований сомневаться в том, что они могут быть объяснены этими науками.

Статистическая физика.

Основное различие в структуре

Предыдущее замечание было бы весьма тривиальным, если бы оно имело целью только стимулировать надежду достигнуть в будущем того, что не было достигнуто в прошлом. Оно, однако, имеет гораздо более положительный смысл, а именно, что неспособность физики и химии до настоящего времени дать ответ полностью объяснима.

Благодаря умелой работе биологов, главным образом генетиков, за последние 30 или 40 лет теперь стало достаточно много известно о действительной материальной структуре организмов и об их отправлениях, чтобы понять, почему современные физика и химия не могли объяснить явления в пространстве и времени, происходящие внутри живого организма.

Расположение и взаимодействие атомов в наиболее важных частях организма коренным образом отличаются от всех тех расположений атомов, с которыми физики и химики имели до сих пор дело в своих экспериментальных и теоретических изысканиях. Однако это отличие, которое я только что назвал коренным, такого рода, что легко может показаться ничтожным всякому, кроме физика, пропитанного той мыслью, что законы физики и химии являются насквозь статистическими⁵. Именно со статистической точки зрения структура важнейших частей живого организма полностью отличается от любого куска вещества, о котором мы, физики и химики, имели до сих пор дело, практически – в наших лабораториях и теоретически

⁴ Мыслию, значит, существую. Декарт.

⁵ Это утверждение может представиться несколько чересчур общим. Обсуждение должно быть отложено до конца этой книги, § 65 и 66.

– за письменными столами⁶. Конечно, трудно себе представить, чтобы законы и правила, при этом нами открытые, были непосредственно приложимы к поведению систем, не имеющих тех структур, на которых основаны эти законы и правила.

Нельзя ожидать, чтобы не физик мог охватить (не говорю уже – оценить) все различие в «статистической структуре», сформулированное в терминах столь абстрактных, как только что сделал это я. Чтобы дать моему утверждению жизнь и краски, разрешите мне предварительно обратить внимание на то, что будет детально объяснено позднее, а именно, что наиболее существенная часть живой клетки – хромосомная нить – может быть с основанием названа апериодическим кристаллом. В физике мы до сих пор имели дело только с периодическими кристаллами. Для ума простого физика они являются весьма интересными и сложными объектами; они составляют одну из наиболее очаровательных и сложных структур, которыми неодушевленная природа приводит в замешательство интеллект физика; однако в сравнении с апериодическими кристаллами они кажутся несколько элементарными и скучными. Различие в структуре здесь такое же, как между обычными обоями, на которых один и тот же рисунок повторяется с правильной периодичностью все снова и снова, и шедевром вышивки, скажем, рафаэлевским гобеленом, который дает не скучное повторение, но сложный, последовательный и полный значения рисунок, начертанный великим мастером.

Называя периодический кристалл одним из наиболее сложных объектов исследования, я имел в виду собственно физика. Органическая химия в изучении все более и более сложных молекул действительно подошла гораздо ближе к тому «апериодическому кристаллу», который, на мой взгляд, является материальным носителем жизни. Поэтому не очень удивительно, что химик-органик уже сделал большой и важный взнос в разрешение проблемы жизни, в то время как физик не внес почти ничего.

Подход к предмету у наивного физика

После того как я кратко указал, таким образом, общую идею или, вернее, основную цель нашего исследования, позвольте мне описать самую линию атаки.

Я намереваюсь сначала развить то, что вы можете назвать «представлениями наивного физика относительно организма». Это те представления, которые могут возникнуть в его уме, если, изучив свою физику и, в частности, ее статистические основания, физик начнет думать об организмах, об их поведении и жизнедеятельности и добросовестно спросит себя, – может ли он, исходя из своих знаний, с позиций своей сравнительно простой, ясной и скромной науки, сделать какой-нибудь полезный взнос в данную проблему.

Выяснится, что он это сделать может. Следующим шагом должно быть сравнение теоретических ожиданий физика с биологическими фактами. Тут обнаружится, что хотя в целом его представления кажутся вполне разумными, их, тем не менее, надо значительно улучшить. Этим путем мы постепенно приблизимся к правильной точке зрения или, говоря скромнее, к той точке зрения, которую я считаю правильной.

Даже если бы я был прав в этом, я не знаю, является ли мой путь действительно наилучшим и простейшим. Но, говоря коротко, это был мой путь. «Наивный физик» был я сам. И я не могу найти никакого лучшего и более ясного пути по направлению к цели, чем мой собственный, хотя, может быть, и извилистый путь.

Почему атомы так малы?

⁶ Эта точка зрения была подчеркнута в двух наиболее вдохновенных работах Ф.Г. Доннана. Scientia, v. 24, № 78, p. 10, 1918 (La science physique-chimique decrit-elle facon adequate les phenomenes biologiques); Smithsonian Report for 1929, p. 309 (The mystery of life).

Хорошим способом развить «представления наивного физика» будет задать сначала странный, почти смешной вопрос: почему атомы так малы? А они действительно очень малы. Каждый маленький кусочек вещества, к которому мы прикасаемся в повседневной жизни, содержит огромное их количество. Было предложено много примеров, чтобы уяснить этот факт широкой публике, но не было ни одного более выразительного примера, чем тот, который привел когда-то лорд Кельвин: предположите, что вы можете поставить метки на все молекулы в стакане воды; после этого вы выльете содержимое стакана в океан и тщательно перемешаете океан так, чтобы распределить отмеченные молекулы равномерно во всех морях мира; если вы далее возьмете стакан воды где угодно, в любом месте океана, – вы найдете в этом стакане около сотни ваших отмеченных молекул⁷.

Действительные размеры атомов⁸ лежат приблизительно между $1/5000$ и $1/2000$ длины волны желтого света. Это сравнение имеет особое значение, потому что длина волны приблизительно указывает величину самой маленькой частицы, которую еще можно различить под микроскопом. Таким образом, мы видим, что такая частица содержит еще тысячи миллионов атомов.

Итак, почему атомы так малы?

Ясно, что этот вопрос является обходным, так как в действительности он направлен не на размеры атомов.

Он касается размера организмов и, в частности, размеров нашего собственного тела. В самом деле, атом мал, когда он сравнивается с нашей гражданской мерой длины, скажем, с ярдом или с метром. В атомной физике приняты так называемые ангстремы (сокращ. Å), которые равны 10^{-10} м, или в десятичном изображении $0,0000000001$ м. Диаметры атомов лежат между 1 и 2 Å. Гражданские единицы (по сравнению с которыми атомы оказываются так малы) прямо связаны с размерами нашего тела. Есть рассказ, который приписывает происхождение ярда юмору одного английского короля. Когда члены его совета спросили его, какую надо установить единицу длины, то он вытянул руку в сторону и сказал: «Возьмите расстояние от середины моей груди до кончиков пальцев, это будет как раз». Верный или нет, но этот рассказ имеет прямое отношение к нашему вопросу. Естественно, что король хотел указать длину, сравнимую с длиной его тела, так как он знал, что иначе мера была бы очень неудобной. При всем пристрастии к ангстремам физик все-таки предпочтет, чтобы ему говорили, что его новый костюм потребует $6\frac{1}{2}$ ярдов твида⁹, а не 65 тысяч миллионов ангстремов твида.

Таким образом, ясно, что в действительности наш вопрос касается не одного размера, а отношения двух размеров – нашего тела и атома, – считаясь, конечно, с несомненным первичным и независимым существованием атома. Вопрос на самом деле гласит: почему наши тела должны быть такими большими по сравнению с атомами?

Я думаю, что многие, страстно изучающие физику или химию, не раз жалели о том, что все наши органы чувств, составляющие более или менее существенную часть нашего тела и поэтому (принимая во внимание значительные размеры приведенного отношения) сами составленные из неисчислимых атомов, оказываются слишком грубыми, чтобы воспринимать удары отдельного атома. Мы не можем ни видеть, ни слышать, ни чувствовать отдельных ато-

⁷ Вы бы, конечно, не нашли точно 100 (даже, если бы это был идеально точный результат вычислений). Вы могли бы найти 88 или 95, или 107, или 112, но практически невероятно, чтобы вы нашли такие числа, как 50 или как 150. «Отклонение», или «флуктуация», ожидается порядка корня квадратного из 100, т. е. 10. Статистически это выражают, говоря, что вы обычно найдете 100 ± 10 . Этим замечанием в данный момент можно пренебречь, но мы к нему обратимся позже, как к примеру статистического закона.

⁸ Согласно современной точке зрения атом не имеет отчетливых границ, так что «размер» атома не является хорошо очерченным понятием. Мы можем заменить его расстояниями между центрами атомов в твердых или жидких телах, но, конечно, не в газообразных, где эти расстояния при нормальном давлении и температуре, грубо говоря, в 10 раз больше.

⁹ Шерстяная материя. (Примеч. пер.)

мов. Наши гипотезы об атомах далеко отстоят от непосредственного восприятия наших огромных органов чувств, и эти гипотезы нельзя проверить прямым наблюдением.

Обязательно ли должно быть так? Имеются ли существенные основания для этого? Можно ли объяснить это положение каким-либо основным принципом, чтобы убедиться и понять, что ничто другое не совместимо с законами природы?

Это уже является такой проблемой, которую физик способен выяснить полностью. Ответ на все вопросы получится утвердительный.

Работа организма требует точных физических законов

Если бы дело обстояло не так, если бы человеческий организм был столь чувствителен, что несколько атомов или даже отдельный атом мог бы произвести заметное впечатление на наши органы чувств, – о небо, на что была бы похожа жизнь! Надо подчеркнуть один пункт: организм такого рода был бы наверняка не способен развить ту упорядоченную мысль, которая, пройдя сквозь длинный ряд более ранних стадий, наконец произвела среди многих других идей и самую идею об атоме.

Хотя мы выбираем, как иллюстрацию, лишь один этот пример, однако все последующие соображения также вполне применимы и к функции других органов (а не только мозга и органов чувств). Тем не менее, имеется только одна и единственная вещь, представляющая особый интерес для нас в нас самих, – это то, что мы можем чувствовать, думать и понимать. В отношении тех физиологических процессов, которые ответственны за наши мысли и чувства, все другие процессы в организме играют вспомогательную роль, по крайней мере, с человеческой точки зрения, если не с точки зрения объективной биологии. Более того, нашу задачу чрезвычайно облегчит, если мы выберем для исследования такой процесс, который сопровождается субъективными событиями, хотя мы и не знаем истинной природы этого параллелизма. Действительно, на мой взгляд, природа этого параллелизма лежит в стороне от области естественных наук и, весьма возможно, за пределами всякого человеческого понимания.

Таким образом, мы встречаемся со следующим вопросом: почему наш мозг и связанная с ним система органов чувств должны обязательно состоять из такого необъятно большого количества атомов, чтобы физиологически изменчивые состояния мозга могли находиться в тесном и интимном соответствии с весьма развитой мыслью? По каким причинам это соответствие несовместимо с таким тонким и чувствительным строением всего механизма (или хотя бы его периферических частей), которое позволило бы при взаимодействии с окружающей средой регистрировать и отвечать на толчок единичного атома извне?

Это основано на том, что явление, которое мы называем мыслью, само по себе есть нечто упорядоченное и приложимо только к такому материалу, то есть к восприятиям или опыту, которые тоже имеют определенную степень упорядоченности. Отсюда вытекают два следствия: 1) физическая организация, чтобы быть в тесном соответствии с мыслью (как, например, мой мозг с моей мыслью), должна быть очень хорошо упорядоченной организацией, а это значит, что события, происходящие в мозгу, должны подчиняться строгим физическим законам, по крайней мере, с очень большой степенью точности; 2) физические впечатления, произведенные на эту физическую, хорошо организованную систему телами извне, очевидно соответствуют познанию и опыту соответствующих мыслей, образуя, как я это упоминал, их материал. Следовательно, физические взаимодействия между нашей системой и другими должны, как правило, сами обладать известной степенью физической упорядоченности, или, говоря иначе, они также должны подчиняться строгим физическим законам с определенной степенью точности.

Физические законы основаны на атомной статистике и поэтому только приближительны

Почему же все это не может быть выполнено в случае, если организм состоит только из умеренного количества атомов и уже чувствителен к воздействиям одного или немногих атомов?

Потому что мы знаем, что все атомы все время проделывают совершенно беспорядочные тепловые движения, которые, так сказать, противостоят их упорядоченному поведению и не позволяют отнести к какому бы то ни было распознаваемому закону события, происходящие между малыми количествами атомов. Только в соединении огромного количества атомов статистические законы начинают действовать и контролировать поведение этих объединений с точностью, возрастающей с увеличением числа атомов, вовлеченных в процесс. Именно этим путем события приобретают действительно закономерные черты. Все физические и химические законы, которые, как известно, играют важную роль в жизни организмов, относятся к этой статистической категории. Всякий другой род закономерностей и упорядоченностей, который можно себе представить, непрерывно нарушается и делается недействительным вследствие безостановочного теплового движения атомов.

Точность физических законов основана на большом количестве участвующих атомов

Разрешите мне попытаться проиллюстрировать это немногими примерами, выбранными до некоторой степени случайно и, возможно, не самыми лучшими, но на которые можно сослаться читателю, первый раз знакомящемуся с этим положением вещей – положением, которое в современной физике и химии является столь же фундаментальным, как, скажем, в биологии тот факт, что организмы состоят из клеток, или как ньютоновские законы в астрономии, или даже как ряд натуральных чисел 1, 2, 3, 4, 5... в математике. Впервые знакомящийся с вопросом не должен ожидать, что он получит из следующих немногих страниц полное понимание и оценку предмета, который связан с известными именами Людвиг Больтцмана и Вилларда Гиббса и трактуется в руководствах под названием «статистическая термодинамика».

А. Первый пример (парамагнетизм)

Если вы наполните продолговатую кварцевую трубку кислородом и поместите ее в магнитном поле, вы найдете, что газ¹⁰ намагничивается. Намагничивание основано на том, что кислородные молекулы являются маленькими магнитами и стремятся расположиться параллельно полю, как это происходит с иглой компаса. Но вы не должны думать, что они все действительно поворачиваются параллельно. Ибо, если вы удвоите силу поля, вы получите в вашем кислородном теле удвоенное намагничивание, и эта пропорциональность будет продолжаться до крайне высокой силы поля, – намагниченность увеличивается в той же степени, как и сила поля, которую вы прилагаете.

Это особенно ясный пример чисто статистического закона. Ориентации, которую стремится вызывать это поле, непрерывно противодействует тепловое движение, работающее в пользу случайной ориентации. Результатом этой борьбы является в действительности только то, что острые углы между осями диполей и направлением поля преобладают над тупыми. Хотя единичные атомы непрерывно изменяют свою ориентацию, в среднем они дают (благодаря их огромному количеству) постоянное небольшое преобладание ориентации в направлении поля и пропорционально ему. Это остроумное объяснение принадлежит французскому физiku П. Ланжевену. Оно может быть проверено следующим путем. Если наблюдающееся слабое намагничивание действительно является результатом двух соперничающих тенденций, а именно – магнитного поля, которое стремится причесать все молекулы параллельно, и теплового движения, которое производит случайную ориентацию, то, значит, возможно увеличить намагничи-

¹⁰ Газ выбран потому, что он проще, чем твердое тело или жидкость; факт, что намагничивание в этом случае крайне слабо, не нарушает теоретических заключений.

вание, не усиливая поля, а ослабив тепловое движение, то есть понизив температуру газа. Это было подтверждено экспериментом, который показывает, что намагничивание обратно пропорционально абсолютной температуре, в количественном согласии с теорией (закон Кюри). Современная экспериментальная техника делает возможным, путем понижения температуры, довести тепловое движение до таких малых размеров, что направляющая тенденция магнитного поля может проявить себя, если не полностью, то в достаточной степени для того, чтобы произвести существенную часть «полного намагничивания».

В этом случае мы больше не можем ожидать, что удвоение силы поля удвоит и намагничивание. Последнее с увеличением поля будет увеличиваться все меньше и меньше, приближаясь к тому, что называется «насыщением». Это ожидание также количественно подтверждается экспериментом.

Заметьте, что такое поведение целиком зависит от огромного количества молекул, которые совместно участвуют в создании наблюдаемого намагничивания. В противном случае магнетизм совсем не был бы постоянным и изменялся бы совершенно нерегулярно от одной секунды к другой, свидетельствуя о превратностях в борьбе между полем и тепловым движением.

Б. Второй пример (броуновское движение, диффузия)

Если вы наполните нижнюю часть закрытого стеклянного сосуда туманом, состоящим из мельчайших капелек, вы увидите, что верхняя граница тумана постепенно понижается с совершенно определенной скоростью, зависящей от вязкости воздуха и от размера и удельного веса капелек. Но если вы посмотрите на одну из капелек под микроскопом, то вы увидите, что она не опускается с постоянной скоростью, а выполняет весьма неправильное движение, так называемое броуновское движение, которое только в среднем соответствует постоянному снижению.

Эти капельки, хотя и не являются атомами, но уже достаточно малы и легки, чтобы чувствовать толчки единичных молекул, которые непрерывно молотят по их поверхности. Толкуемые таким образом капельки могут только в среднем следовать влиянию силы тяжести.

Этот пример показывает, какие удивительные и беспорядочные впечатления получали бы мы, если бы наши органы чувств были восприимчивы к ударам уже немногих молекул.

Имеются бактерии и другие организмы, столь малые, что они сильно подвержены этому явлению. Их движения определяются тепловыми прихотями окружающей среды; они не имеют выбора. Если они обладают собственной подвижностью, то они могут все же передвигаться с одного места на другое, но только с известными трудностями, поскольку тепловое движение швыряет их как маленькую лодку в бурном море.

Очень сходно с броуновским движением явление диффузии. Представьте себе сосуд, наполненный жидкостью, скажем водой, с небольшим количеством какого-нибудь окрашенного вещества, растворенного в ней, например марганцовокислого калия, но не в равномерной концентрации, где точки означают молекулы растворенного вещества (перманганата) и где концентрация уменьшается слева направо. Если вы оставите эту систему в покое, наступает весьма медленный процесс «диффузии». Перманганат распространяется в направлении слева направо, то есть от места более высокой концентрации к месту более низкой концентрации, пока, наконец, не распределится равномерно по всей воде.

В этом довольно простом и, очевидно, не особенно интересном процессе замечательно то, что он ни в какой степени не связан с какой-либо тенденцией или силой, которая, как это можно было бы подумать, влечет молекулы перманганата из области большей тесноты в область меньшей тесноты, подобно тому как, например, население страны расселяется в ту часть, где больше простора. С нашими молекулами перманганата ничего подобного не происходит. Каж-

дая из них ведет себя совершенно независимо от всех других молекул, с которыми она встречается весьма редко.

Каждая из них, как в области большей тесноты, так и в более свободной части, испытывает одну и ту же судьбу. Ее непрерывно толкают молекулы воды, и таким образом она постепенно продвигается в совершенно непредсказуемом направлении, – иногда в сторону более высокой, иногда в сторону более низкой концентрации, а иногда наискось. Характер движения, которое она выполняет, часто сравнивали с движением человека, которому завязали глаза на большой площади и который хочет «пройтись», но не придерживается определенного направления и, таким образом, непрерывно изменяет линию своего движения.

Тот факт, что беспорядочное движение молекул перманганата все же должно вызывать регулярный ток в сторону меньшей концентрации и в конце концов привести к равномерному распределению, на первый взгляд кажется озадачивающим, но только на первый взгляд. При тщательном рассмотрении на тонких слоях почти постоянной концентрации можно представить себе, как молекулы перманганата, которые в данный момент содержатся в определенном слое, путем беспорядочных движений будут в действительности с равной вероятностью перемещаться как направо, так и налево. Но именно вследствие этого поверхность, отделяющая два соседних слоя, будет пересекаться большим количеством молекул, приходящих слева, чем в обратном направлении. Это произойдет просто потому, что слева имеется больше беспорядочно движущихся молекул, чем имеется их справа, и до тех пор, пока это так, будет происходить регулярное перемещение слева направо, пока, наконец, не наступит равномерное распределение.

Если эти соображения перевести на математический язык, то получится точный закон диффузии в форме дифференциального уравнения в частных производных, объяснением которого я не буду утруждать читателя, хотя его значение на обычном языке также достаточно просто¹¹. Строгая «математическая точность» закона упоминается здесь для того, чтобы подчеркнуть, что его физическая точность должна тем не менее проверяться в каждом конкретном случае. Будучи основана на чистой случайности, справедливость закона будет только приближительной. Если имеется, как правило, достаточно хорошее приближение, то это только благодаря огромному количеству молекул, которые участвуют в явлении. Чем меньше их количество, тем больше случайных отклонений мы должны ожидать, и при благоприятных условиях, эти отклонения действительно наблюдаются.

В. Третий пример (пределы точности измерения)

Последний пример, который мы дадим, близко сходен со вторым, но имеет особый интерес. Легкое тело, подвешенное на длинной тонкой нити и находящееся в равновесии, часто употребляется физиками для измерения слабых сил, отклоняющих его от этого положения, то есть для измерения электрических, магнитных или гравитационных сил, прилагаемых так, чтобы повернуть его вокруг вертикальной оси (легкое тело должно быть, конечно, выбрано надлежащим образом для каждой специальной цели). Продолжающиеся попытки повысить точность этого весьма часто употребляемого приспособления «крутильных весов» столкнулись с любопытным пределом, который чрезвычайно интересен сам по себе. Выбирая все более и более легкие тела и более тонкую и длинную нить, чтобы сделать весы чувствительными ко все более слабым силам, достигли предела, когда подвешенное тело стало уже чувствительно к ударам теплового движения окружающих молекул и начало выполнять непрерывный неправильный «танец» вокруг своего равновесного положения, танец, весьма сходный с дрожанием капли во

¹¹ А именно, концентрация в любой данной точке увеличивается (или уменьшается) со скоростью, пропорциональной сравнительному избытку (или недостатку) концентрации в ее бесконечно малом окружении. Закон тепловой передачи имеет, между прочим, точно ту же форму, если «концентрацию» заменить «температурой».

втором примере. Хотя это поведение не ставит еще абсолютного предела точности измерений, получаемых с помощью подобных весов, оно все-таки кладет практический предел. Неподдающийся контролю эффект теплового движения конкурирует с действием той силы, которая должна быть измерена, и лишает значения единичное наблюдаемое отклонение. Вы должны проделать свои наблюдения много раз, чтобы нейтрализовать эффект броуновского движения вашего инструмента. Этот пример, я думаю, является особенно иллюстративным, ибо наши органы чувств, в конце концов, представляют собой тоже род инструмента. Мы можем видеть, как бесполезны они были бы, если бы стали слишком чувствительны.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.