



ПОПУЛЯРНЫЕ
ЛЕКЦИИ

ЭРВИН
ШРЁДИНГЕР

УДК 530
ББК 22.32+87
Ш85

Шрёдингер Э.

Ш85 ПОПУЛЯРНЫЕ ЛЕКЦИИ / Шрёдингер Эрвин. — СПб.:
Страта, 2021. — 222 с.

ISBN 978-5-907314-93-1

В книге собраны самые популярные лекции знаменитого австрийского физика-теоретика, одного из создателей квантовой механики, прочитанные им в разные годы.

В первой части Шрёдингер с позиций теоретической физики обсуждает общие проблемы физического подхода к различным явлениям жизни, причины макроскопичности, многоатомности организма, механизма наследственности и мутаций.

Вторая часть включает лекции, описывающие положение дел в физике, сложившееся в результате постепенного развития науки к середине 50-х годов XX века, раскрывающее отношение Шрёдингера к научным достижениям как к стремлению человека познать свое место во вселенной.

В третьей части автор затрагивает вопросы о роли науки в жизни человека, ценности научного знания и этики преподавателя; вопросы отношения разума и материи, формы и содержания, отличий представлений современной физики от взглядов ученых эпохи «доквантовой физики».

Книга адресована широкому кругу читателей, интересующихся глобальными проблемами науки и философии.

УДК 530
ББК 22.32+87

ISBN 978-5-907314-93-1

СОДЕРЖАНИЕ

Кот ученый. 3

ЧТО ТАКОЕ ЖИЗНЬ?

Физический аспект живой клетки. 1944

Предисловие 6

Подход классического физика к предмету 7

Механизм наследственности 22

Мутации 38

Данные квантовой механики. 51

Обсуждение и проверка модели Дельбрюка. 60

Упорядоченность, неупорядоченность и энтропия 72

Основана ли жизнь на законах физики? 79

Эпилог. О детерминизме и свободе воли 89

НАУКА И ГУМАНИЗМ. 1951

Духовное отношение науки к жизни 96

Практические достижения науки, стремящиеся стереть
ее истинный смысл. 102

Радикальное изменение наших взглядов на материю 103

Форма, а не содержание — фундаментальная концепция 109

Природа наших «моделей» 111

Непрерывное описание и причинность 115

Сложность континуума 118

Квантовая механика как палиатив 125

Провозглашаемое падение барьера между субъектом
и объектом. 131

Атомы или кванты — древнее контрзаклинание
против сложности континуума 136

Даст ли физическая неопределенность шанс свободной воле? .. 139

Препятствие предсказаниям согласно Нильсу Бору. 144

РАЗУМ И МАТЕРИЯ. 1956

Физический принцип сознания. 148

Будущее понимания. Биологический тупик? 158

Принцип объективации 173

Арифметический парадокс. Единственность разума 184

Наука и религия 196

Загадка чувственных качеств 205

ЧТО ТАКОЕ ЖИЗНЬ?

1944

ПРЕДИСЛОВИЕ

Принято считать, что ученый должен из первых рук в совершенстве знать определенную область науки, и поэтому ему не следует писать по таким вопросам, в которых он не является знатоком. Это рассматривается как *noblesse oblige* (Благородство обязывает — *франц.*). Однако для достижения моей цели я хочу отказаться от *noblesse*, и поэтому прошу освободить меня от вытекающих отсюда обязательств. Мое отступление от этого правила объясняется следующим.

Мы унаследовали от наших предков острое стремление к цельному, всеобъемлющему знанию. Само название высших институтов познания — университеты — напоминает нам, что с давних пор и на протяжении многих столетий универсальный характер знаний — единственное, к чему может быть полное доверие. Но расширение и углубление разнообразных отраслей знания в течение последних сто с лишним лет поставило нас перед странной дилеммой. С одной стороны, мы чувствуем, что только теперь начинаем приобретать надежный материал для того, чтобы свети в единое целое все до сих пор известное, а с другой стороны, становится почти невозможным для одного ума полностью овладеть более чем одной небольшой специальной частью науки.

Я не вижу выхода из этого положения (чтобы при этом наша основная цель не оказалась потерянной навсегда), если только кое-кто из нас не рискнет взяться за синтез фактов и теорий, хотя наше знание в некоторых областях неполно и получено из вторых рук, и мы можем подвергнуться опасности показаться невеждами. Пусть это послужит мне извинением. Это должно быть отнесено на мой, а не на их счет.

ПОДХОД КЛАССИЧЕСКОГО ФИЗИКА К ПРЕДМЕТУ

1. Общий характер и цели исследования

Эта небольшая книга возникла из курса публичных лекций, прочитанных физиком-теоретиком перед аудиторией, насчитывающей около четырехсот человек. Аудитория почти не уменьшалась, хотя с самого начала слушатели были предупреждены, что предмет изложения труден и что лекции не могут считаться популярными, несмотря на то, что наиболее страшное орудие физика — математическая дедукция — здесь вряд ли будет использоваться. И не потому, что предмет настолько прост, чтобы его можно было объяснить без привлечения математического аппарата, а, скорее, потому, что он слишком запутан и не вполне доступен для математической интерпретации. Другой особенностью лекций, придающей им по крайней мере внешний популяризаторский характер, 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, рассмотренных в книге, в целом она должна передать только одну мысль, только одно небольшое пояснение к большому и важному вопросу. Чтобы не уклониться в сторону, будет полезно заранее кратко изложить наш замысел. Большой, важный и очень часто обсуждаемый вопрос заключается в следующем: как физика и химия смогут объяснить те явления в *пространстве* и *времени*, которые происходят внутри живого организма? Предварительный ответ, который постарается дать эта небольшая книга, можно сформулировать так: явная неспособность физики и химии объяснить такие явления совершенно не дает оснований сомневаться в том, что они могут быть объяснены этими науками.

2. 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, т. е. неспособность физики и химии до настоящего времени дать ответ полностью объяснима.

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

Расположение и взаимодействие атомов в наиболее важных частях живого организма коренным образом отличаются от того расположения атомов, с которыми физики и химии имели до сих пор дело в своих экспериментальных и теоретических исследованиях. Однако это отличие, которое я только что назвал коренным, легко может показаться ничтожным всякому, кроме физика, глубоко убежденного в том, что законы физики и химии являются законами статистическими. Именно со статистической точки зрения структура важнейших частей живого организма полностью отличается от структуры любого вещества, с которым мы, физики и химии, имели до сих пор дело практически в наших лабораториях и теоретически за письменным столом. Конечно, трудно представить, чтобы законы и правила, нами открытые, были непосредственно приложимы к поведению систем, не имеющих тех структур, на которых основаны эти законы и правила.

Нельзя ожидать, чтобы нефизик мог понять (не говоря 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. Наиболее существенную часть живой клетки —

хромосомную нить — можно с полным основанием назвать **апериодическим кристаллом**. В физике мы до сих пор имели дело только с **периодическими кристаллами**. Для физика периодические кристаллы являются весьма интересными и сложными объектами; они составляют одну из наиболее очаровательных и сложных структур, которыми неодушевленная природа приводит в замешательство интеллект физика. Однако по сравнению 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, и шедевром вышивки, скажем, рафаэлевским гобеленом, который повторяет сложный, последовательный и полный замысла рисунок, начертанный великим мастером.

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

3. Подход к предмету у наивного физика

После того, как я кратко изложил 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 об организмах». Это те представления, которые могут возникнуть у физика, когда, изучив свою физику и, в частности, ее статистические основы, он начнет размышлять об организмах, об их поведении и жизнедеятельности и честно задаст себе вопрос, — сможет ли он исходя из своих знаний, с позиций своей сравнительно простой, ясной и скромной науки, сделать сколь-нибудь полезный вклад 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 уточнить. Этим путем мы постепенно приблизимся к правильной точке зрения или, говоря скромнее, к той точке зрения, которую я считаю правильной.

Даже если я и прав, то не знаю, является ли мой путь действительно лучшим и простейшим. Но это был мой собственный путь. «Наивный физик» — это я сам. И я не вижу лучшего и более ясного способа для достижения цели, чем мой собственный, хотя, быть может, и извилистый путь.

Хороший способ развить представления наивного физика — это задать ему сначала странный, почти нелепый вопрос.

4. Почему атомы так малы?

А они ведь действительно очень малы. Каждый маленький кусочек вещества, к которому мы ежедневно прикасаемся, содержит огромное их количество. Предложено много примеров, чтобы довести этот факт до сознания широкой публики и самым выразительным из них был пример, приведенный лордом Кельвином. Представьте, что вы смогли пометить все молекулы в стакане воды, а после этого вылили содержимое стакана в океан и тщательно перемешали, чтобы меченые молекулы равномерно распределились по всем морям мира. Если вы затем зачерпнете стакан воды наугад, в любом месте океана, то обнаружите в нем около 100 помеченных вами молекул.

Действительные размеры атомов лежат приблизительно между $1/5000$ и $1/2000$ длины волны света. Это сравнение имеет особое значение, так как длина волны приблизительно соответствует величине 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, задавая его, мы невольно сопоставляем размеры атомов с размерами различных организмов, в частности, нашего собственного тела.

В самом деле, атом мал, когда он сравнивается с используемой в повседневной жизни мерой длины, скажем, с ярдом или метром. В атомной физике за единицу длины принят так называемый ангстрем (А), равный 10^{-10} метра (м) или в десятичной записи 0,000000001 м. Диаметр атомов лежит между 1 и 2 А. Единицы же длины, по сравнению с которыми атомы так малы, прямо связаны с размерами нашего тела.

Бытует легенда, которая приписывает происхождение ярда чувству юмора одного английского короля. Когда советники спросили его, что принять за единицу длины, то он вытянул руку в сторону и сказал: «Возьмите расстояние от середины моей груди до кончиков пальцев, это и будет то, что надо». Было так 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 будет очень неудобной. При всем своем пристрастии к ангстремам физик все-таки предпочтет, чтоб ему сказали, что на его новый костюм потребуется 6,5 ярда твида, а не 65 тысяч миллионов ангстремов. Таким образом, в действительности наш вопрос касается не одного, а двух размеров — нашего тела и атома. Принимая во внимание несомненный приоритет независимого существования атома, вопрос прозвучит так: почему наше тело должно быть таким большим по сравнению с атомом?

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 (принимая во внимание значительные размеры приведенного отношения) сами составленные из бесчисленного количества атомов, оказываются слишком грубыми, чтобы воспринимать удары отдельного атома. Мы не можем ни видеть, ни слышать, ни чувствовать отдельных атомов. Наши гипотезы об атомах далеко отстоят от непосредственного восприятия наших органов чувств, и эти гипотезы нельзя проверить прямым наблюдением.

Обязательно ли должно быть именно так? Имеются ли основания для этого? Можно ли объяснить это положение каким-то принципом, чтобы убедиться в том, что ничто другое не совместимо

с законами природы? Это уже является такой проблемой, которую физик способен выяснить полностью и на все вопросы получить утвердительный ответ.

5. Работа организма требует соблюдения точных физических законов

Если бы дело обстояло не так, если бы человеческий организм был столь чувствителен, что отдельный атом или даже несколько атомов могли бы оказать заметное воздействие на наши органы чувств, — о, небо, на что была бы похожа наша жизнь! Такой организм был бы наверняка не способен развить упорядоченную мысль, которая, пройдя сквозь длинный ряд более ранних стадий, наконец, произвела бы среди многих других идей и саму идею об атоме.

Хотя мы выбираем в качестве иллюстрации лишь один этот пример, однако все последующие соображения также вполне применимы и к функционированию других органов (а не только мозга и органов чувств). Тем не менее имеется одно и только одно, представляющее 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, наша задача будет чрезвычайно облегчена, 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 человеческого понимания.

Таким образом, возникают следующие вопросы. 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 близком 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 воздействие единичного атома извне и реагировать на него.

То, что мы называем мыслью, само по себе есть нечто упорядоченное и приложимо только к аналогичному материалу, то есть к познанию 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, соответствуют познанию и опыту соответствующих мыслей, образуя их материал, как я назвал его. Следовательно, физические взаимодействия между нашей системой и другими должны, как правило, сами обладать известной степенью физической упорядоченности, или, иначе говоря, они должны подчиняться строгим физическим законам с определенной степенью точности.

6. Физические законы основаны на атомной статистике и поэтому только приближительны

Почему же все, изложенное выше, не может быть выполнено в случае, если организм состоит только из сравнительно небольшого числа атомов и чувствителен к воздействиям одного или немногих атомов?

Потому что мы знаем: все атомы находятся в непрерывном хаотическом тепловом движении, которое, так сказать, противостоит их упорядоченному поведению и не позволяет отнести к какому бы то ни было распознаваемому закону события,

происходящие между малым числом атомов. Только при наличии огромного количества атомов статистические законы начинают действовать и контролировать поведение этих *assemblées* с точностью, возрастающей с увеличением числа атомов, вовлеченных в процесс. Именно так события обретают действительно закономерные черты. Все физические и химические законы, которые, как известно, играют важную роль в жизни организмов, являются статистическими. Любой другой вид закономерности и упорядоченности, который можно себе представить, постоянно нарушается и становится недействительным вследствие непрерывного теплового движения атомов.

7. Точность физических законов основана на большом количестве участвующих атомов

Разрешите мне попытаться проиллюстрировать сказанное выше несколькими примерами, выбранными до некоторой степени случайно и, возможно, не самыми лучшими, но которые можно привести читателю, впервые знакомящемуся с этим положением — 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, прочитав несколько страниц, он полностью поймет и оценит предмет, который связан с известными именами Людвиг Больцмана и Уилларда Гиббса и называется статистической термодинамикой.

8. Первый пример (парамагнетизм)

Если вы наполните кварцевую трубку кислородом и поместите ее в магнитное поле, вы обнаружите, что газ намагничивается. Намагничивание обусловлено тем, что молекулы кислорода являются крохотными магнитами и стремятся расположиться вдоль силовых линий поля, как стрелка компаса (рис. 1).

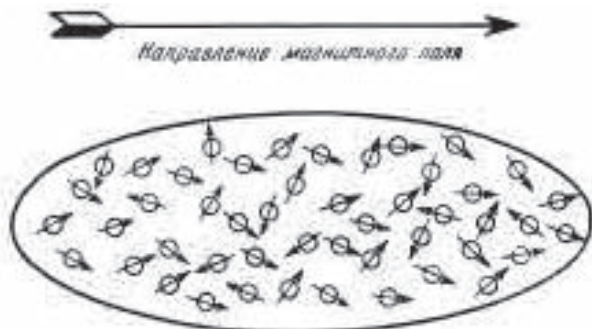


Рис. 1. Парамагнетизм

Но не следует думать, что буквально все они будут ориентироваться параллельно друг другу. Если вы удвоите напряженность поля, то в нашем кислородном теле намагниченность удвоится, и эта пропорциональность будет соблюдаться до полей очень высокой напряженности, — намагниченность будет увеличиваться в той же степени, как и напряженность поля, которую вы прилагаете.

Это особенно яркий пример чисто статистического закона. Ориентации, которую стремится вызвать магнитное поле, непрерывно противодействует тепловое движение, обуславливающее случайную ориентацию молекул. 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 благодаря их огромному количеству постоянно преобладает ориентация в направлении поля и пропорционально ему. Это остроумное объяснение принадлежит французскому физiku П. Ланжевену. Оно может быть проверено следующим образом.

Если наблюдающееся слабое намагничивание действительно является результатом двух соперничающих тенденций — магнитного поля, которое стремится ориентировать все молекулы параллельно, и теплового движения, которое вызывает их случайную ориентацию, то, значит, можно увеличить

намагничивание, не усиливая поля, а ослабляя тепловое движение, то есть понижая температуру газа. Это было подтверждено экспериментом, который показал, что намагничивание вещества обратно пропорционально его абсолютной температуре, а это находится в количественном согласии с теорией (законом Кюри). Современная экспериментальная техника позволяет путем понижения температуры довести тепловое движение молекул до таких малых размеров, что ориентирующая 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 не можем ожидать, что дальнейшее удвоение напряженности поля удвоит и намагниченность. Последняя с увеличением напряженности поля будет увеличиваться все меньше и меньше, приближаясь к тому, что называется насыщением. Это предположение также количественно подтверждается экспериментом.

Заметьте, что такое поведение целиком зависит от наличия огромного количества молекул, которые совместно участвуют в создании наблюдаемого явления намагничивания. В противном случае намагничивание не подчинялось бы определенному закону и изменялось бы совершенно бессистемно, свидетельствуя о превратностях борьбы между внешним магнитным полем и тепловым движением.

9. Второй пример (броуновское движение, диффузия)

Если вы наполните нижнюю часть закрытого стеклянного сосуда туманом, состоящим из мельчайших капелек, то увидите, тумана постепенно понижается с совершенно определенной скоростью, зависящей от вязкости воздуха, размера и плотности капелек. Но если вы посмотрите на одну из капелек в микроскоп, то увидите, что она опускается не с постоянной скоростью, а совершает весьма беспорядочное, так называемое броуновское движение, которое лишь в среднем соответствует постоянному снижению.

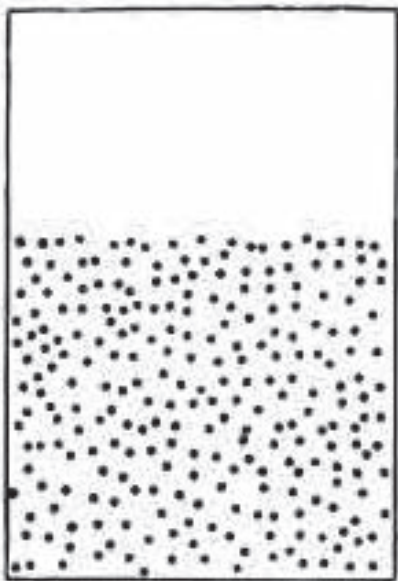


Рис. 2. Оседающий туман



Рис. 3. Броуновское движение оседающей капли

Эти капельки хотя и не являются атомами, но уже достаточно малы и легки, чтобы чувствовать толчки единичных молекул, которые непрерывно воздействуют на их поверхность. Толкаемые таким образом капельки могут только в среднем подчиняться действию силы тяжести (рис. 2 и 3).

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 движение определяется тепловыми флуктуациями окружающей среды; они не имеют права выбора. Если они обладают собственной подвижностью, то все же могут передвигаться с одного места на другое, но только с большим трудом, поскольку тепловое движение швыряет их, как маленькую лодочку в бушующем море.

Очень сходно с броуновским движением явление диффузии. Представьте себе сосуд, наполненный жидкостью, скажем водой, с небольшим количеством какого-нибудь красящего вещества, растворенного в ней, например перманганата калия, но не в равномерной концентрации, а скорее так, как показано на рис. 4, где точки означают молекулы растворенного вещества и где концентрация уменьшается слева направо.

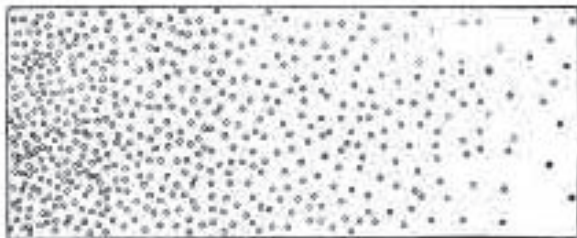


Рис. 4. Диффузия (слева направо) в растворе с неравномерной концентрацией

Если вы оставите эту систему в покое, начнется очень медленный процесс диффузии. Перманганат будет распространяться в направлении слева направо, то есть от места более высокой концентрации к месту более низкой концентрации, пока, наконец, не распределится равномерно по всему объему воды.

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, где очень тесно, в область, где посвободней, подобно тому как, например, население страны переселяется в ту часть, где больше пространства. С нашими молекулами перманганата ничего подобного не происходит. Каждая из них ведет себя совершенно независимо от 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 по-

степенно продвигается в совершенно непредсказуемом направлении: по прямой в сторону или более высокой или более низкой концентрации. Характер движений, которые она выполняет, часто сравнивают с движением человека, которому завязали глаза на большой площади и велели «пройтись», но который не может придерживаться 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 выравниванию концентраций, на первый взгляд кажется непонятным, но только на первый взгляд. При тщательном рассмотрении на рис. 4 тонких слоев почти постоянной концентрации можно представить себе, как молекулы перманганата, которые в данный момент содержатся в определенном слое, беспорядочно двигаясь, будут с равной вероятностью перемещаться и направо, и налево. Но именно вследствие этого поверхность раздела двух соседних слоев будет пересекаться большим количеством молекул, приходящих слева, а не в обратном направлении. Это произойдет просто потому, что слева больше беспорядочно движущихся молекул, чем справа, и до тех пор, пока это так, будет происходить регулярное перемещение слева направо, пока, наконец, не наступит равновесное распределение.

Если эти соображения перевести на математический язык, то получим дифференциальное уравнение в частных производных, описывающее математически точно закон диффузии.

Объяснением этого закона я не буду утруждать читателя, хотя сделать это достаточно просто. О строгой «математической точности» закона упоминается здесь для того, чтобы подчеркнуть, что его физическая сущность должна, тем не менее, проверяться в каждом конкретном случае. Будучи основана на случайности, справедливость закона будет только приблизительной. Если имеется, как правило, достаточно хорошее приближение, то это только благодаря тому огромному количеству молекул, которые принимают участие в явлении. Чем меньше их количество, тем больше случайных отклонений мы должны ожидать, и при благоприятных условиях эти отклонения действительно наблюдаются.

10. Третий пример (пределы точности измерения)

Последний пример, который я приведу, сходен со вторым, но имеет особенный интерес. Легкое тело, подвешенное на длинной тонкой нити и находящееся в равновесии, часто используется физиками для измерения слабых сил, отклоняющих его от этого положения, то есть для измерения электрических, магнитных или гравитационных сил, прилагаемых так, чтобы повернуть его около вертикальной оси (для каждой конкретной цели, естественно, следует выбирать соответствующее легкое тело). Продолжающиеся попытки повысить точность этого весьма часто используемого варианта «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, достигают предела, когда подвешенное тело становится уже чувствительным к ударам теплового движения окружающих молекул и начинает исполнять непрерывный «танец» около своего равновесного положения — танец, весьма сходный с дрожанием капли, описанным во втором примере. Это поведение не определяет еще абсолютного предела точности измерений на подобных весах, однако оно все-таки указывает практически на предел измерений. Не поддающийся контролю эффект теплового движения конкурирует с действием той силы, которую следует измерить, и лишает значения единичное наблюдаемое отклонение.

Вы должны проделать свои измерения много раз, чтобы нейтрализовать эффект броуновского движения вашего инструмента. Этот пример, я думаю, является особенно наглядным, ибо наши органы чувств в конце концов представляют собой тоже своего рода инструмент. Мы можем видеть, какими бесполезными они были, если бы стали слишком чувствительными.

11. Правило \sqrt{n}

Примеров приведено достаточно. Добавлю только, что нет ни одного закона физики и химии из тех, которые имеют отношение к организму или к его взаимодействию с окружающей средой, который не мог быть выбран в качестве примера. Объяснение может оказаться более сложным, но главное всегда останется тем же самым. Но я хотел бы остановиться еще на одном важном количественном положении, касающемся степени неточности, которую надо ожидать в любом физическом законе. Это так называемый закон \sqrt{n} . Проиллюстрирую его простым примером.

Пусть некоторый газ при определенных давлении и температуре имеет определенную плотность, тогда я могу это выразить, сказав, что внутри данного объема (который по размеру подходит для эксперимента) при данных условиях имеется n молекул газа. Если в какой-то момент времени вы захотите проверить мое утверждение, то найдете его неточным: отклонение будет порядка \sqrt{n} . Следовательно, если $n = 100$, то отклонение составит приблизительно 10. Таким образом, относительная погрешность измерения равна 10%. Но если $n = 1000000$, то, вероятно, отклонение будет равным примерно 1000, а относительная погрешность — 0,1%. Этот статистический закон является весьма общим. Законы физики и физической химии неточны в пределах вероятной относительной погрешности, имеющей порядок $1/\sqrt{n}$, где n — количество молекул, участвующих в проявлении этого закона — в его осуществлении внутри той области пространства или времени, которая подлежит рассмотрению.

Вы снова видите, что организм должен представлять собой относительно большую структуру, состоящую из множества атомов, чтобы наслаждаться благоденствием вполне точных законов как в своей внутренней жизни, так и при взаимодействии с внешним миром. Если бы количество участвующих частиц было слишком мало, то «закон» оказался бы слишком неточным. Особенно важным требованием является закон квадратного корня, потому что хотя миллион и достаточно большое число, однако точность 1 на 1000 не является чрезмерно хорошей, если существо дела претендует на то, чтобы быть «Законом Природы».

МЕХАНИЗМ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

12. Выводы классического физика, будучи далеко не тривиальными, оказываются неверными

Итак, мы пришли к заключению, что организм со всеми протекающими в нем биологическими процессами должен иметь весьма «многоатомную» структуру; необходимо также, чтобы «одноатомные» явления не играли в нем слишком большой роли. Существенно, говорит наивный физик, чтобы в основе организма лежали достаточно точные физические законы, на основе которых он мог бы организовать свою исключительно регулярную и хорошо упорядоченную работу. В какой степени приложимы к реальным биологическим фактам эти выводы, сделанные а priori, т. е. с чисто физической точки зрения?

На первый взгляд может показаться, что эти выводы довольно тривиальны. Биолог, скажем, лет 30 назад мог утверждать, что хотя лектору-популяризатору вполне уместно подчеркнуть значение законов статистической физики при функционировании организма, как и любой другой системы, однако это утверждение, пожалуй, чересчур избитая истина, ибо действительно, не только организм взрослого индивидуума любого высокоразвитого существа, но и каждая клетка его содержит «космическое» число единичных атомов. И каждый отдельный физиологический процесс, который мы наблюдаем или внутри клетки, или при ее взаимодействии с внешней средой, кажется (или казалось лет 30 назад), увлекает такое огромное количество единичных атомов и единичных атомных процессов, что точное выполнение законов физики и физической химии гарантировано даже при весьма жестком требовании статистической физики в отношении «больших чисел». Это требование я только что проиллюстрировал на примере \sqrt{n} .

Теперь мы знаем, что такая точка зрения была бы ошибочной. Как мы сейчас увидим, невероятно маленькие группы атомов, слишком малые, чтобы проявлять точные статистические законы, играют главенствующую роль в весьма упорядоченных и зако-

номерных процессах внутри каждого организма. Они управляют видимыми признаками большого масштаба, которые организм приобретает в течение своего развития; они определяют важные особенности его функционирования, и во всем этом проявляются весьма отчетливые и строгие биологические законы.

Я должен начать с краткого подведения итога достижений биологии и, в частности, генетики; другими словами, я должен подытожить современное состояние знаний в той области, где я — не авторитет.

Этого нельзя избежать, и поэтому я приношу извинения, особенно биологу, за дилетантский характер изложения. Я прошу также разрешения изложить господствующие представления более или менее догматично. От «бедного» физика-теоретика нельзя ожидать, чтобы он сделал что-нибудь подобное компетентному обзору экспериментальных данных, полученных в результате большого количества великолепно выполненных серий экспериментов по скрещиванию, задуманных с беспрецедентным остроумием, с одной стороны, и прямых наблюдений над живой клеткой, проведенных со всей тонкостью современной микроскопии, — с другой.

13. Наследственный шифровальный код (хромосомы)

Разрешите мне воспользоваться словом «план (pattern) организма» в том смысле, в каком биолог называет его «планом в четырех измерениях», подразумевая при этом не только структуру и функционирование организма во взрослом состоянии или на любой другой стадии развития, но и организм в его онтогенетическом развитии от оплодотворенной яйцеклетки до стадии зрелости, когда он начинает размножаться. Теперь известно, что этот план в четырех измерениях определяется структурой всего одной клетки, а именно структурой оплодотворенного яйца. Более того, мы знаем, что он в основном определяется структурой только одной небольшой части этой клетки, ее ядром. Такое ядро в обычном «покоящемся» состоянии клетки представляется как