
VII

Основана ли жизнь на законах физики?

Si un hombre nunca se contradice,
será porque nunca dice nada.

*Miguel de Unamuno*¹.

62. *Для организма следует ожидать новых законов*

В этой последней главе я хочу показать, что все известное нам о структуре живой материи заставляет ожидать, что деятельность живого организма нельзя свести к проявлению обычных законов физики. И не потому, что имеется какая-нибудь «новая сила» или что-либо еще, управляющее поведением отдельных атомов внутри живого организма, а потому, что его структура отличается от всего изученного нами до сих пор в физической лаборатории. Грубо говоря, инженер, знакомый ранее только с паросиловыми установками, осмотрев электромотор, будет готов признать, что ему еще не понятны принципы его работы. Он обнаружит медь, которую знает по применению в котлах и которую здесь используют в форме длинной-предлинной проволоки, намотанной на катушки; железо, знакомое ему по рычагам и паровым цилиндрам, а здесь заполняющее сердцевину катушки из медной проволоки. Он придет к заключению, что это та же медь и то же железо, подчиняющиеся тем же законам природы, и будет прав. Но одного различия в конструкции будет недостаточно, чтобы ожидать совершенно другого принципа работы. Он не станет подозревать, что электромотор приводится в движение духом, только потому, что его можно заставить вращаться без котла и пара простым поворотом выключателя.

63. *Обзор положения в биологии*

Развертывание событий в жизненном цикле организма обнаруживает удивительную регулярность и упорядоченность, не имеющих себе равных среди всего, с чем мы встречаемся в неодушевленных предметах. Организм контролируется в высшей степени хорошо упорядоченной группой атомов, которая составляет только

¹Человек никогда не противоречит себе, если он вообще никогда ничего не говорит. — *Мигуэль де Унамуньо*.

очень незначительную часть общей массы каждой клетки. Более того, на основании создавшейся у нас точки зрения на механизм мутаций мы приходим к заключению, что перемещение всего лишь немногих атомов внутри группы «управляющих атомов» зародышевой клетки достаточно для того, чтобы вызвать весьма определенное изменение наследственных признаков большого масштаба.

Это, вероятно, наиболее интересные факты из тех, которые наука открыла в наши дни. Мы склонны признать их в конце концов не столь уже невозможными. Удивительная способность организма концентрировать на себе «поток порядка», избегая таким образом перехода к атомному хаосу, — способность «пить упорядоченность» из подходящей среды, по-видимому, связана с присутствием «аперiodических твердых тел» — хромосомных молекул. Последние, без сомнения, представляют наивысшую степень упорядоченности среди известных нам ассоциаций атомов (более высокую, чем у обычных периодических кристаллов) из-за той индивидуальной роли каждого атома и каждого радикала, которую они здесь играют.

Короче говоря, мы видим, что существующая упорядоченность проявляет способность поддерживать сама себя и производить упорядоченные явления. Это звучит достаточно убедительно, хотя, считая это убедительным, мы несомненно исходим из явлений, опирающихся на активность организмов. Поэтому может показаться, что получается нечто, подобное порочному кругу.

64. Обзор положения в физике

Как бы то ни было, следует снова и снова подчеркнуть, что для физика такое положение дел кажется не только невероятным, но и чрезвычайно волнующим, поскольку оно не имеет прецедента. Вопреки обычным представлениям, регулярное течение событий, управляемое законами физики, никогда не бывает следствием одной, хорошо упорядоченной группы атомов (молекулы), если, конечно, эта группа атомов не повторяется огромное число раз, как в периодическом кристалле, или как в жидкости, или, наконец, в газе, которые состоят из большого количества одинаковых молекул.

Даже когда химик имеет дело с очень сложной молекулой *in vitro*, он всегда сталкивается с огромным количеством одинаковых молекул. К ним приложимы его законы. Он может сказать вам, например, что через минуту после того, как начнется определенная реакция, половина всех молекул прореагирует, а через две минуты это же произойдет

с тремя четвертями молекул. Но будет ли определенная молекула (если предположить, что вы можете за ней проследить) находиться среди тех, которые прореагировали, или среди тех, которые остались нетронутыми, этого он не предскажет. Это вопрос чистой случайности.

И это не только теоретическое рассуждение. Иногда мы можем наблюдать судьбу отдельной маленькой группы атомов или даже единичного атома. Но всякий раз, когда мы это делаем, мы встречаемся с полной неупорядоченностью, которая только в среднем из большого числа случаев приводит к закономерности.

Такие примеры мы рассматривали в главе I. Броуновское движение малой частицы, взвешенной в жидкости, совершенно беспорядочно. Но если подобных частиц много, то они своим хаотичным движением дают начало закономерному процессу диффузии.

Распад единичного радиоактивного атома поддается наблюдению (его движение вызывает видимые вспышки на флуоресцентном экране). Но если имеется единичный радиоактивный атом, то вероятный период его жизни менее определен, чем срок жизни здорового воробья. Действительно, в отношении этого периода можно сказать только то, что все время, пока атом существует (а это может продолжаться тысячи лет), вероятность его распада в следующую секунду, велика она или мала, остается всегда той же самой. Это очевидное отсутствие индивидуальной определенности тем не менее подчиняется точному экспоненциальному закону распада большого количества радиоактивных атомов одного и того же вида.

65. *Поразительный контраст*

В биологии мы встречаемся с совершенно иным положением. Единичная группа атомов, существующая только в одном экземпляре, вызывает закономерные явления, которые находятся в тесной связи между собой и с окружающей внешней средой. Я сказал — существующая только в одном экземпляре, ибо в конце концов мы имеем пример яйца и одноклеточного организма. Это верно, что на последующих стадиях развития у высших организмов количество этих экземпляров увеличивается. Но в какой степени? Что-нибудь 10^{14} у взрослого млекопитающего, как я себе представляю. Ну и что же! Это только одна миллионная доля того количества молекул, которое содержится в одном кубическом дюйме воздуха. Хотя сравнительно и большие, но все вместе эти группы атомов образовали бы только крошечную каплю жидкости. И посмотрите, каким образом они распределяются. Каждая клетка дает

приют лишь одной из них (или двум, если мы будем иметь в виду диплоидию). Поскольку мы знаем силу этого крошечного центрального аппарата в изолированной клетке, не напоминают ли они нам отдельные пульта управления, разбросанные по всему организму и осуществляющие связь между собой благодаря общему для них коду?

Это, конечно, фантастическое описание, может быть, более подходящее поэту, чем ученому. Однако не нужно поэтического воображения, надо только ясно и трезво поразмыслить, чтобы уяснить себе, что здесь мы встречаемся с явлениями, регулярное и закономерное разворачивание которых определяется «механизмом», полностью отличающимся от «механизма вероятности» в физике. Ибо это просто наблюдаемый факт, что в каждой клетке руководящее начало заключено в единичной группе атомов, существующей только в одном экземпляре (или иногда в двух), и такой же факт, что оно управляет событиями, служащими образцом упорядоченности. Найдем ли мы удивительным или совершенно естественным, что маленькая, но высокоорганизованная группа атомов способна действовать таким образом, положение остается одинаково беспрецедентным. Оно характерно только для живой материи. Физик и химик, исследуя неживую материю, никогда не встречали феноменов, которые им приходилось бы интерпретировать подобным образом. Такого случая еще не наблюдали, и поэтому теория не объясняет его — наша прекрасная статистическая теория, которой мы справедливо гордились, так как она позволила нам заглянуть за кулисы и увидеть, что могущественный порядок точных физических законов возникает из атомной и молекулярной неупорядоченности; теория, открывшая, что наиболее важный, наиболее общий и всеохватывающий закон возрастания энтропии может быть понят без специального допущения, ибо энтропия — это сама молекулярная неупорядоченность.

66. *Два пути
возникновения
упорядоченности*

Упорядоченность, наблюдаемая в разворачивании жизненных процессов, проистекает из различных источников. Оказывается, существуют два различных «механизма», которые могут производить упорядоченные явления: статистический механизм, создающий «порядок из беспорядка», и новый механизм, производящий «порядок из порядка». Для непредвзятого ума второй принцип кажется более простым, более вероятным. Без сомнения, так оно и есть. Именно поэтому физики были горды установлением первого принципа (порядок из беспорядка), которому фактически следует Природа и который один дает объясне-

ние огромному множеству природных явлений и, в первую очередь, их необратимости.

Но мы не можем ожидать, чтобы «законы физики», основанные на этом принципе, оказались достаточными для объяснения поведения живой материи, наиболее удивительные особенности которой, видимо, в значительной степени основаны на принципе «порядок из порядка». Вы ведь не станете ожидать, что два совершенно различных механизма могут обусловить один и тот же закон, как и не будете ожидать, что ваш ключ от двери обязательно подойдет к двери вашего соседа.

Нас не должны поэтому обескураживать трудности объяснения жизни с привлечением обычных законов физики. Ибо это именно то, чего следует ожидать, исходя из наших знаний относительно структуры живой материи. Мы вправе предполагать, что живая материя подчиняется новому типу физического закона. Или мы должны назвать его нефизическим, чтобы не сказать: сверхфизическим законом?

67. *Новый принцип
не чужд физике*

Нет. Я не думаю этого. Новый принцип — это подлинно физический закон: на мой взгляд, он не что иное, как опять-таки принцип квантовой теории. Для объяснения этого мы должны пойти несколько дальше и ввести уточнение (чтобы не сказать — улучшение) в наше прежнее утверждение, что все физические законы основаны на статистике.

Это утверждение, повторявшееся снова и снова, не могло не привести к противоречию, ибо действительно имеются явления, отличительные особенности которых явно основаны на принципе «порядок из порядка» и ничего, кажется, не имеют общего со статистикой или молекулярной неупорядоченностью.

Солнечная система, движение планет существуют бесконечно давно. Созвездие, которое мы видим, наблюдали люди, жившие во времена египетских пирамид. Когда были вычислены даты солнечных затмений, имевших место много лет назад, то оказалось, что они соответствуют историческим записям, а в некоторых случаях результаты вычисления послужили основанием для исправления хронологической записи. Эти расчеты основывались не на статистике, а исключительно на ньютоновском законе всемирного тяготения.

Движение маятника хорошо отрегулированных часов или любого подобного механизма, очевидно, также не имеет ничего общего со статистикой. Короче говоря, все чисто механические явления, по-

видимому, явно следуют принципу «порядок из порядка». И если мы говорим «механические», то этот термин надо понимать в широком смысле. Работа очень распространенного вида часов, как вы знаете, основана на регулярном приеме электрических импульсов.

Я помню интересную небольшую работу Макса Планка «Динамический и статистический тип закона»². В ней он проводит точно такое же различие, какое мы здесь назвали «порядком из порядка» и «порядком из беспорядка».

Цель этой работы показать, как интересный статистический тип закона, контролирующий события большого масштаба, создается из динамических законов, которые, по-видимому, управляют событиями малого масштаба — взаимодействием единичных атомов и молекул. Последний тип закона иллюстрируется механическими явлениями большого масштаба, как, например, движение планет, часов и т. д.

Таким образом, оказывается, что «новый принцип» — принцип «порядок из порядка», который мы провозгласили с большой торжественностью в качестве действительного ключа к пониманию жизни, совсем не нов для физики. Планк даже восстанавливает его приоритет. Мы, кажется, приближаемся к смехотворному выводу, будто бы ключ к пониманию жизни заключается в том, что она имеет чисто механический характер и основана на принципе «часового механизма» в том смысле, который придает этому выражению Планк.

Этот вывод не представляется нелепым и, на мой взгляд, не совсем ошибочен, хотя его и следует принимать с большой осторожностью.

68. *Движение часов* Давайте тщательно проанализируем движение реальных часов. Это не чисто механический феномен. Чисто механические часы не нуждались бы ни в пружине, ни в заводе. Раз пущенные в ход, они двигались бы бесконечно. Реальные часы без пружины останавливаются после нескольких движений маятника, его механическая энергия превращается в тепло. А это бесконечно сложный, атомистический процесс. Общее представление о нем, которое складывается у физика, вынуждает признать, что обратный процесс также вполне возможен: часы без пружины могут неожиданно начать двигаться вследствие затраты тепловой энергии своих собственных зубчатых колес и окружающей среды. В этом случае физик должен был бы сказать: часы испытывают исключительно интенсивный пароксизм броуновского движения.

²*Dynamische und statistische Gesetzmässigkeit.*

В главе I (§ 7) мы видели, что с весьма чувствительными крутильными весами (электромметр или гальваномметр) такого рода явления происходят все время. Для часов это бесконечно маловероятно.

Будем ли мы относить движение часов к динамическому или к статистическому типу закономерных явлений (употребляя выражения Планка), зависит от нашей точки зрения. Называя это движение динамическим, мы обращаем внимание на его регулярность, которая может быть обеспечена сравнительно слабой пружиной, преодолевающей незначительные нарушения теплового движения, которыми мы можем пренебречь. Но если мы вспомним, что без пружины часы вследствие трения постепенно остановятся, то поймем, что этот процесс может быть истолкован только как статистическое явление.

Каким бы практически незначительным ни было трение и нагревание в часах, все же не может быть сомнения, что вторая точка зрения, которая не пренебрегает ими, более основательна, даже если мы имеем дело с регулярным движением часов, приводимых в действие пружиной. Ибо не следует думать, что движение механизма в самом деле полностью исключает статистическую сторону процесса. Истинная физическая картина не исключает того, что даже точно идущие часы могут неожиданно повернуть свое движение вспять и завести свою собственную пружину за счет потери тепла окружающей средой. Это событие немногим менее вероятно, чем броуновский пароксизм для часов, совсем не имеющих заводного механизма.

69. *Работа часового механизма в конечном счете имеет статистический характер*

Давайте теперь рассмотрим создавшееся положение. «Простой» случай, который мы проанализировали, служит типичным примером многих других, по существу всех, которые на первый взгляд не попадают под действие всеохватывающего принципа молекулярной статистики. Часы, сделанные из реальной физической материи (в отличие от воображаемых), не будут «реальным часовым механизмом». Элемент случайности может быть более или менее снижен: вероятность того, что часы неожиданно пойдут и пойдут совершенно неправильно, может быть бесконечно малой, но в основе она всегда будет. Трение и тепловое влияние сопровождают даже движение небесных тел. Так, вращение Земли постепенно замедляется приливным трением и вместе с этим Луна постепенно удаляется от Земли, чего не случилось бы, если бы Земля была совершенно твердым вращающимся шаром.

Тем не менее остается фактом, что «реальные часовые механизмы» ясно проявляют весьма выраженные черты «порядка из порядка», то есть такие, которые взволновали бы физика, если бы он столкнулся с ними в организме. Кажется вероятным, что оба случая в конце концов имеют нечто общее. Остается рассмотреть, в чем заключается это общее и одновременно поразительное различие, которое делает организм в конечном счете беспрецедентным.

70. Теорема Нернста

Когда же физическая система — любой вид ассоциации атомов — следует «динамическому закону» (в том значении, которое придавал ему Планк) или обнаруживает «черты часового механизма»? На этот вопрос квантовая теория дает краткий ответ: при температуре абсолютного нуля. При приближении к этой температуре молекулярная неупорядоченность перестает влиять на физические явления. Это было, между прочим, обнаружено при исследовании химических реакций в широких температурных границах и при последующей экстраполяции результатов на фактически недостижимую температуру, равную абсолютному нулю; это и есть знаменитая термодинамическая теорема Вальтера Нернста, которую иногда, и не без основания, называют третьим началом термодинамики (первое — закон сохранения энергии, второе — закон энтропии).

Квантовая теория дает обоснование эмпирическому закону Нернста и позволяет определить, как близко данная система должна подойти к абсолютному нулю, чтобы выявить черты «динамического» поведения. Какая же температура в каждом отдельном случае практически эквивалентна нулю?

Так вот, не следует думать, что это должна быть всегда очень низкая температура. Действительно, открытие Нернста было подсказано тем фактом, что даже при комнатной температуре энтропия играет удивительно незначительную роль во многих химических реакциях. (Напомню, что энтропия является прямой мерой молекулярной неупорядоченности, а именно ее логарифмом.)

71. Маятниковые часы фактически находятся при нулевой температуре

Для маятниковых часов комнатная температура практически эквивалентна нулю. Это причина того, что они работают «динамически». Они будут продолжать идти, если их охлаждать (конечно, при условии, что удалена смазка),

но останутся, если их нагревать выше комнатной температуры, ибо в конце концов они расплавятся.

72. Сходство между часовым механизмом и организмом

То, что будет сказано ниже, хотя и кажется весьма тривиальным, но, я думаю, достигнет цели. Часы способны функционировать «динамически», так как они состоят из твердых тел, форма которых удерживается гайтлер-лондоновскими силами достаточно прочно, чтобы избежать тенденции теплового движения к нарушению порядка при обычной температуре.

Теперь, я думаю, надо немного слов, чтобы определить сходство между часовым механизмом и организмом. Оно просто и исключительно сводится к тому, что в основе последнего лежит твердое тело — аперiodический кристалл, образующий наследственное вещество, не подверженное воздействию беспорядочного теплового движения.

Но, пожалуйста, не ставьте мне в вину, что я будто бы называю хромосомные нити «зубцами органической машины», по крайней мере не делайте этого без ссылки на те глубокие физические теории, на которых основано сходство. Потому что, действительно, не нужно большого красноречия, чтобы напомнить основное различие между ними и оправдать для биологического случая эпитеты — новый и беспрецедентный.

Наиболее поразительными различиями являются, во-первых, своеобразное распределение «зубцов» в многоклеточном организме (я могу напомнить несколько поэтическое описание § 65) и, во-вторых, то, что отдельный зубец — это не грубое человеческое изделие, а прекрасный шедевр, когда-либо созданный по милости господней квантовой механики.