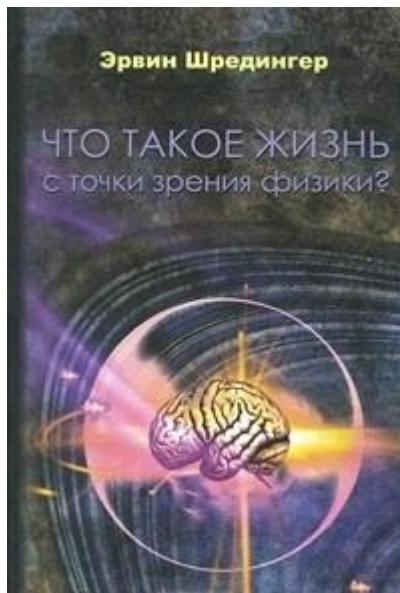


## Эрвин Шредингер. Что такое жизнь с точки зрения физика?

Эрвин Рудольф Йозеф Александр [Шредингер](#) — австрийский физико-теоретик, лауреат [Нобелевской премии по физике](#). Один из разработчиков квантовой механики и волновой теории материи. В 1945 г. Шредингер пишет книгу «Что такое жизнь с точки зрения физики?», оказавшую существенное влияние на развитие биофизики и молекулярной биологии. В этой книге внимательно рассмотрено несколько важнейших проблем. Основополагающим является вопрос: «Как могут физика и химия объяснить те явления в пространстве и времени, которые имеют место внутри живого организма?». Текст и рисунки восстановлены по книге, вышедшей в 1947 г. в издательстве Иностранной литературы.

Э. Шредингер. Что такое жизнь с точки зрения физики? – М.: РИМСИС, 2009. – 176 с.



### Глава I. Подход классического физика к предмету

Наиболее существенная часть живой клетки — хромосомная нить — может быть названа апериодическим кристаллом. В физике мы до сих пор имели дело только с периодическими кристаллами. Поэтому не очень удивительно, что химик-органик уже сделал большой и важный внос в разрешение проблемы жизни, в то время как физик не внес почти ничего.

Почему атомы так малы? 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 молекул.

Все наши органы чувств, составленные из неисчислимых атомов, оказываются слишком грубыми, чтобы воспринимать удары отдельного атома. Мы не можем ни видеть, ни слышать, ни чувствовать отдельных атомов. Обязательно ли должно быть так? 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, на что была бы похожа жизнь!

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.

Все атомы все время проделывают совершенно беспорядочные тепловые движения. 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. Точность физических законов основана на большом количестве участвующих атомов.

Степень неточности, которую надо ожидать в любом физическом законе –  $\sqrt{n}$ . Если некоторый газ при определенном давлении и температуре имеет определенную же плотность, то я могу сказать, что внутри какого-то объема имеется  $n$  молекул газа. Если в какой-то момент времени вы сможете проверить мое утверждение, то вы найдете его неточным, и отклонение будет порядка  $\sqrt{n}$ . Следовательно, если  $n = 100$ , вы нашли бы отклонение равным приблизительно 10. Таким образом, относительная ошибка здесь равна 10%. Но если  $n = 1$  миллиону, вы бы, вероятно, нашли отклонение равным примерно 1000, и таким образом относительная ошибка равняется 0,1%.

Организм должен иметь сравнительно массивную структуру для того, чтобы наслаждаться благоденствием вполне точных законов как в своей внутренней жизни, так и при взаимодействии с внешним миром. Иначе количество участвующих частиц было бы слишком мало и «закон» слишком неточен.

## Глава II. Механизм наследственности

Выше мы пришли к заключению, что организмы со всеми протекающими в них биологическими процессами должны иметь весьма «многоатомную» структуру, и для них необходимо, чтобы случайные «одноатомные» явления не играли в них слишком большой роли. Теперь мы знаем, что такая точка зрения не всегда верна.

Разрешите мне воспользоваться словом «план» (pattern) организма, обозначая этим не только структуру и функционирование организма во взрослом состоянии или на любой другой определенной стадии, но организм в его онтогенетическом развитии, от оплодотворенной яйцеклетки до стадии зрелости, когда он начинает размножаться. Теперь известно, что весь этот целостный план в четырех измерениях (пространство + время) определяется структурой всего одной клетки, а именно — оплодотворенного яйца. Более того, ее ядром, а еще точнее — парой хромосом: один набор приходит от матери (яйцевая клетка) и один — от отца (оплодотворяющий сперматозоид). Каждый полный набор хромосом содержит весь шифр, хранящийся в оплодотворенной яйцеклетке, которая представляет самую раннюю стадию будущего индивидуума.

Но термин шифровальный код, конечно, слишком узок. Хромосомные структуры служат в то же время и инструментом, осуществляющим развитие, которое они же предвещают. Они являются и кодексом законов и исполнительной властью или, употребляя другое сравнение, они являются и планом архитектора и силами строителя в одно и то же время.

Как хромосомы ведут себя в онтогенезе?<sup>1</sup> Рост организма осуществляется последовательными клеточными делениями. Такое клеточное деление называется митозом.<sup>2</sup> В среднем достаточно 50 или 60 последовательных делений, чтобы произвести количество клеток, имеющихся у взрослого человека.

Как ведут себя хромосомы в митозе? Они удваиваются, удваиваются оба набора, обе копии шифра. Каждая, даже наименее важная отдельная клетка обязательно обладает полной (двойной) копией шифровального кода. Существует единственное исключение из этого правила — редукционное деление или мейоз (рис. 1; автор немного упростил описание, чтобы сделать его более доступным).

<sup>1</sup> [Онтогенез](#) — развитие индивидуума в течение его жизни, в противоположность филогенезу — развитию вида в течение геологических периодов.

<sup>2</sup> [Митоз](#) — непрямое деление клетки, наиболее распространенный способ репродукции клеток. Значение митоза состоит в строго одинаковом распределении хромосом между дочерними ядрами, что обеспечивает образование генетически идентичных дочерних клеток и сохраняет преемственность в ряду клеточных поколений.

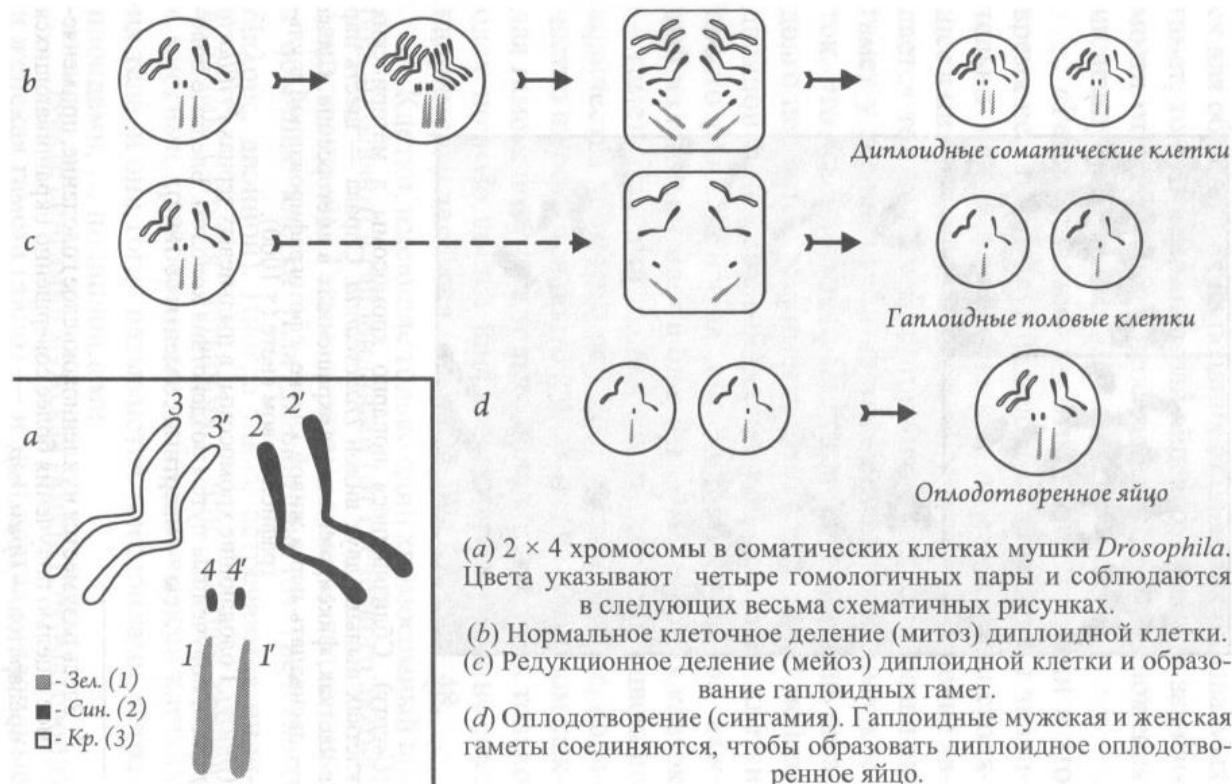
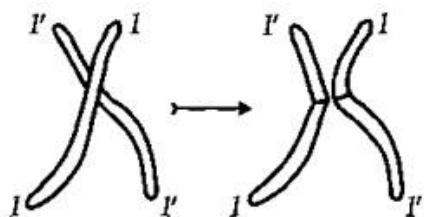


Рис. 1. Редукционное деление (мейоз) и оплодотворение (сингамия)

Один набор хромосом происходит от отца, один — от матери. Ни случайность, ни судьба не могут помешать этому. Но когда вы проследите происхождение вашей наследственности вплоть до ваших дедов и бабок, то дело оказывается иным. Например, набор хромосом, пришедших ко мне от отца, в частности хромосома № 5. Это будет точная копия или того № 5, который мой отец получил от своего отца, или того № 5, который он получил от своей матери. Исход дела был решен (с вероятностью 50:50 шансов). Точно та же история могла бы быть повторена относительно хромосом № 1, 2, 3... 24 моего отцовского набора и относительно каждой из моих материнских хромосом.

Но роль случайности в смешении дедушкиной и бабушкиной наследственности у потомков еще больше, чем это могло показаться из предыдущего описания, в котором молчаливо предполагалось или даже прямо утверждалось, что определенные хромосомы пришли как целое или от бабушки, или от дедушки; другими словами, что единичные хромосомы пришли неразделенными. В действительности это не так или не всегда так. Перед тем как разойтись в редукционном делении, скажем в том, которое происходило в отцовском теле, каждые две «гомологичные» хромосомы приходят в тесный контакт одна с другой и иногда обмениваются друг с другом значительными своими частями (рис. 2). Явление кроссинговера, будучи не слишком редким, но и не слишком частым, обеспечивает нас ценнейшей информацией о расположении свойств в хромосомах.<sup>3</sup>



<sup>3</sup> Автор здесь выражается неточно, говоря о расположении в хромосоме «свойств» или «признаков». Как он сам далее указывает, в хромосоме расположены не сами свойства, а лишь определенные материальные структуры (гены), различия в которых приводят к видоизменениям определенных свойств всего организма в целом. Это надо постоянно иметь в виду, ибо Шредингер все время пользуется кратким выражением «свойства». — Прим. пер.

Рис. 2. Кроссинговер. Слева — две гомологичные хромосомы в контакте; справа — после обмена и разделения.

*Максимальный размер гена.* Ген — материальный носитель определенной наследственной особенности — равен кубу со стороной в 300 Å. 300 Å — это только около 100 или 150 атомных расстояний, так что ген содержит не более миллиона или нескольких миллионов атомов. Согласно статистической физике такое число слишком мало (с точки зрения  $\sqrt{n}$ ), чтобы обусловить упорядоченное и закономерное поведение.

### Глава III. Мутации

Мы теперь определенно знаем, что Дарвин ошибался, когда считал, что материалом, на основе которого действует естественный отбор, служат малые, непрерывные, случайные изменения, обязательно встречающиеся даже в наиболее однородной популяции. Потому что было доказано, что эти изменения не наследственны. Если вы возьмете урожай чистосортного ячменя и измерите у каждого колоса длину остьей, а затем вычертите результат вашей статистики, вы получите колоколообразную кривую (рис. 3). На этом рисунке количество колосьев с определенной длиной остьей отложено против соответствующей длины остьей. Другими словами, преобладает известная средняя длина остьей, а отклонения в том и другом направлении встречаются с определенными частотами. Теперь выберите группу колосьев, обозначенную черным, с остьми, заметно превосходящими среднюю длину, но группу достаточно многочисленную, чтобы при посеве в поле она дала новый урожай. Проделывая подобный статистический опыт, Дарвин ожидал бы, что для нового урожая кривая сдвигается вправо. Другими словами, он ожидал бы, что отбор произведет увеличение средней величины остьей. Однако на деле этого не случится.

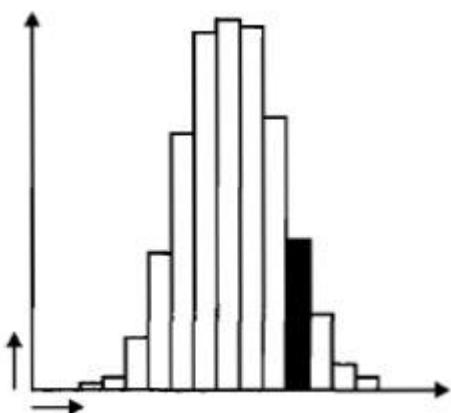


Рис. 3. Статистика длины остьей в чистосортном ячмене. Черная группа должна быть отобрана для посева

Отбор не дает результата, потому что малые, непрерывные различия не наследуются. Они, очевидно, не обусловлены строением наследственного вещества, они случайны. Голландец [Хуго де-Фриз](#) открыл, что в потомстве даже совершенно чистосортных линий появляется очень небольшое число особей — скажем, две или три на десятки тысяч — с малыми, но «скаккообразными» изменениями. Выражение «скаккообразные» означает здесь не то, что изменения очень значительны, а только факт прерывистости, так как между неизмененными особями и немногими измененными нет промежуточных форм. Де-Фриз назвал это *мутацией*. Существенной чертой тут является именно прерывистость. Физику она напоминает квантовую теорию — там тоже не наблюдается промежуточных ступеней между двумя соседними энергетическими уровнями.

Мутации наследуются так же хорошо, как первоначальные неизмененные признаки. Мутация определенно является изменением в наследственном багаже и должна обуславливаться каким-то изменением наследственной субстанции. В силу их свойства действительно передаваться потомкам, мутации служат также подходящим материалом и для естественного отбора, который может работать над ними и производить виды, как это описано Дарвином, элиминируя неприспособленных и сохраняя наиболее приспособленных.

Определенная мутация вызывается изменением в определенной области одной из хромосом. Мы твердо знаем, что это изменение происходит только в одной хромосоме и не возникает одновременно в соответствующем «локусе» гомологичной хромосомы (рис. 4). У мутантной особи две «копии шифровального кода» больше уже не одинаковы; они представляют два различных «толкования» или две «версии».

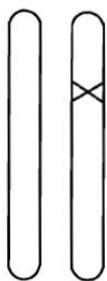


Рис. 4. Гетерозиготный мутант. Крестом отмечен мутировавший ген

Версия, которой следует особь, называется доминантной, противоположная — рецессивной; другими словами, мутация называется доминантной или рецессивной в зависимости от того, проявляет ли она свой эффект сразу или нет. Рецессивные мутации даже более часты, чем доминантные, и бывают весьма важными, хотя они не сразу обнаруживаются. Чтобы изменить свойства организма, они должны присутствовать в обеих хромосомах (рис. 5).

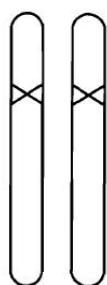


Рис. 5. Гомозиготный мутант, полученный в одной четверти потомства при самооплодотворении гетерозиготных мутантов (см. рис. 4) или при скрещивании их между собой

Версия шифровального кода — будь она первоначальной или мутантной, — принято обозначать термином [аллель](#). Когда версии различны, как это показано на рис. 4, особь называется гетерозиготной в отношении этого локуса. Когда они одинаковы, как, например, в немутировавших особях или в случае, изображенном на рис. 5, они называются гомозиготными. Таким образом, рецессивные аллели влияют на признаки только в гомозиготном состоянии, тогда как доминантные аллели производят один и тот же признак как в гомозиготном, так и в гетерозиготном состоянии.

Особи могут быть совершенно подобны по внешности и, однако, различаться наследственно. Генетик говорит, что у особей один и тот же фенотип, но различный генотип. Содержание предыдущих параграфов может быть, таким образом, суммировано в кратком, но высоко техническом выражении: *рецессивная аллель влияет на фенотип, только когда генотип гомозиготен.*

Процент мутаций в потомстве — так называемый темп мутирования — можно увеличить во много раз по сравнению с естественным мутационным темпом, если освещать родителей  $\gamma$ -лучами или  $\gamma$ -лучами. Мутации, вызванные таким путем, ничем (за исключением большей частоты) не отличаются от возникающих самопроизвольно.

#### Глава IV. Данные квантовой механики

В свете современного знания механизм наследственности тесно связан с основой квантовой теории. Величайшим открытием квантовой теории были черты дискретности. Первый случай этого рода касался энергии. Тело большого масштаба изменяет свою энергию непрерывно. Например, начавший качаться маятник постепенно замедляется вследствие сопротивления воздуха. Хотя это

довольно странно, но приходится принять, что система, имеющая размер атомного порядка, ведет себя иначе. Малая система по самому своему существу может находиться в состояниях, отличающихся только дискретными количествами энергии, называемыми ее специфическими энергетическими уровнями. Переход от одного состояния к другому представляет собой несколько таинственное явление, обычно называемое «квантовым скачком».

Среди прерывистой серии состояний системы атомов необязательно, но все же может существовать наиболее низкий уровень, предполагающий тесное сближение ядер друг с другом. Атомы в таком состоянии образуют молекулу. Молекула будет иметь известную устойчивость; конфигурация ее не может изменяться, по крайней мере до тех пор, пока она не будет снабжена извне разностью энергий, необходимой, чтобы «поднять» молекулу на ближайший, более высокий уровень. Таким образом, эта разница уровней, представляющая собой совершенно определенную величину, характеризует количественно степень устойчивости молекулы.

При всякой температуре (выше абсолютного нуля) имеется определенная, большая или меньшая, вероятность подъема на новый уровень, причем эта вероятность, конечно, увеличивается с повышением температуры. Наилучший способ выразить эту вероятность — это указать среднее время, которое следует выждать, пока не произойдет подъем, то есть указать «время ожидания». Время ожидания зависит от отношения двух энергий: энергетической разности, какая необходима для подъема ( $W$ ), и интенсивности теплового движения при данной температуре (обозначим через  $T$  абсолютную температуру и через  $kT$  эту характеристику;  $k$  — [постоянная Больцмана](#);  $3/2kT$  представляет собой среднюю кинетическую энергию атома газа при температуре  $T$ ).

Удивительно, насколько сильно время ожидания зависит от сравнительно малых изменений отношения  $W:kT$ . Например, для  $W$ , которое в 30 раз больше, чем  $kT$ , время ожидания будет всего 1/10 секунды, но оно повышается до 16 месяцев, когда  $W$  в 50 раз больше  $kT$ , и до 30 000 лет, когда  $W$  в 60 раз больше  $kT$ .

Причина чувствительности в том, что время ожидания, назовем его  $t$ , зависит от отношения  $W:kT$  как степенная функция, то есть

$$(1) t = \tau e^{W/kT}$$

$\tau$  — некоторая малая константа порядка  $10^{-13}$  или  $10^{-14}$  секунды. Этот множитель имеет физический смысл. Его величина соответствует порядку периода колебаний, все время происходящих в системе. Вы могли бы, вообще говоря, сказать: этот множитель обозначает, что вероятность накопления требуемой величины  $W$ , хотя и очень мала, повторяется снова и снова «при каждой вибрации», т.е. около  $10^{13}$  или  $10^{14}$  раз в течение каждой секунды.

Степенная функция не случайная особенность. Она снова и снова повторяется в статистической теории тепла, образуя как бы ее спинной хребет. Это — мера невероятности того, что количество энергии, равное  $W$ , может случайно собраться в некоторой определенной части системы, и именно эта невероятность возрастает так сильно, когда требуется многократное превышение средней энергии  $kT$  для того, чтобы преодолеть порог  $W$ .

Предлагая эти соображения как теорию устойчивости молекул, мы молчаливо приняли, что квантовый скачок, называемый нами «подъемом», ведет если не к полной дезинтеграции, то, по крайней мере, к существенно иной конфигурации тех же самых атомов — к изомерной молекуле, как сказал бы химик, то есть к молекуле, состоящей из тех же самых атомов, но в другом расположении (в приложении к биологии это может представлять новую «аллель» того же самого «локуса», а квантовый скачок будет соответствовать мутации).

Химику известно, что одна и та же группа атомов при образовании молекул может объединиться более чем одним способом. Такие молекулы называются изомерными, т.е., состоящими из тех же частей (рис. 6).

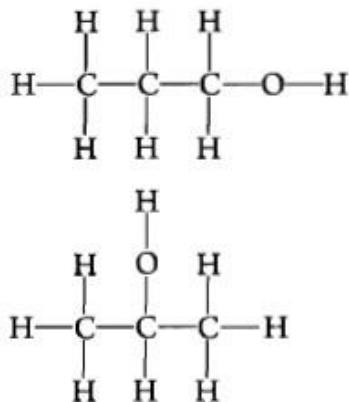


Рис. 6. Два изомера пропилового алкоголя

Замечателен тот факт, что обе молекулы весьма устойчивы, — обе ведут себя так, как если бы они были «нижним уровнем». Самопроизвольных переходов от одного состояния к другому не бывает. В применении к биологии нас будут интересовать переходы только такого «изомерного» типа, когда энергия, необходимая для перехода (величина, обозначаемая  $W$ ), в действительности является не разностью уровней, а ступенькой от исходного уровня до порога (см. стрелки на рис. 7). Переходы без порога между исходным и конечным состояниями совершенно не представляют интереса, и не только применительно к биологии. Они действительно ничего не меняют в химической устойчивости молекул. Почему? Они не дают продолжительного эффекта и остаются незамеченными. Ибо когда они происходят, то за ними почти немедленно следует возвращение в исходное состояние, поскольку ничто не препятствует такому возвращению.

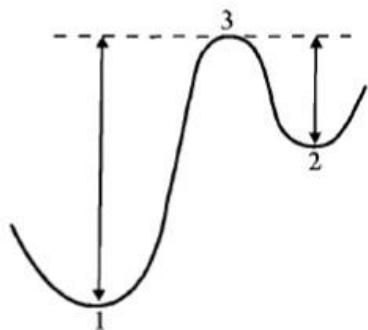


Рис. 7. Энергетический порог 3 между изомерными уровнями 1 и 2. Стрелки указывают минимум энергии, требующейся для перехода.

## Глава V. Обсуждение и проверка модели Дельбрюка

Мы примем, что по своей структуре ген является гигантской молекулой, которая способна только к прерывистым изменениям, сводящимся к перестановке атомов с образованием изомерной молекулы (для удобства я продолжаю называть это изомерным переходом, хотя было бы нелепостью исключать возможность какого-либо обмена с окружающей средой). Энергетические пороги, отделяющие данную конфигурацию от любых возможных изомерных, должны быть достаточно высоки (сравнительно со средней тепловой энергией атома), чтобы сделать переходы редкими событиями. Эти редкие события мы будем отождествлять со спонтанными мутациями.

Часто спрашивали, как такая крошечная частичка вещества — ядро оплодотворенного яйца — может вместить сложный шифровальный код, включающий в себя все будущее развитие организма? Хорошо упорядоченное объединение атомов, наделенное достаточной устойчивостью для длительного сохранения своей упорядоченности, представляется единственно мыслимой материальной структурой, в которой разнообразие возможных («изомерных») комбинаций достаточно велико, чтобы заключать в себе сложную систему «детерминаций» в пределах минимального пространства.

## **Глава VI. Упорядоченность, неупорядоченность и энтропия**

Из общей картины наследственного вещества, нарисованной в модели Дельбрюка, следует, что живая материя, хотя и не избегает действия «законов физики», установленных к настоящему времени, по-видимому, заключает в себе до сих пор неизвестные «другие законы физики». Попробуем разобраться с этим. В первой главе было объяснено, что законы физики, как мы их знаем, это статистические законы. Они связаны с естественной тенденцией вещей переходить к неупорядоченности.

Но для того, чтобы примирить высокую устойчивость носителей наследственности с их малыми размерами и обойти тенденцию к неупорядоченности, нам пришлось «изобрести молекулу», необычно большую молекулу, которая должна быть шедевром высоко дифференцированной упорядоченности, охраняемой волшебной палочкой квантовой теории. Законы случайности не обесцениваются этим «изобретением», но изменяется их проявление. Жизнь представляет собой упорядоченное и закономерное поведение материи, основанное не только на одной тенденции переходить от упорядоченности к неупорядоченности, но частично и на существовании упорядоченности, которая поддерживается все время.

Что является характерной чертой жизни? Когда мы говорим про кусок материи, что он живой? Когда он продолжает «делать что-либо», двигаться, обмениваться веществами с окружающей средой и т.д., — и все это в течение более долгого времени, чем по нашим ожиданиям мог бы делать неодушевленный кусок материи при подобных же условиях. Если неживую систему изолировать или поместить в однородные условия, всякое движение, обычно, очень скоро прекращается в результате различного рода трений; разности электрических или химических потенциалов выравниваются, вещества, которые имеют тенденцию образовывать химические соединения, образуют их, температура становится однообразной благодаря теплопроводности. После этого система в целом угасает, превращается в мертвую инертную массу материи. Достигнуто неизменное состояние, в котором не возникает никаких заметных событий. Физик называет это состоянием термодинамического равновесия или «максимальной энтропии».

Именно в силу того, что организм избегает бы строго перехода в инертное состояние «равновесия», он и кажется столь загадочным: настолько загадочным, что с древнейших времен человеческая мысль допускала, будто в организме действует какая-то специальная, не физическая, сверхъестественная сила.

Как же живой организм избегает перехода к равновесию? Ответ прост: благодаря еде, питью, дыханию и (в случае растений) ассимиляции. Это выражается специальным термином — метаболизм (от греческого — перемена или обмен). Обмен чего? Первоначально, без сомнения, подразумевался обмен веществ. Но представляется нелепостью, чтобы существенным был именно обмен веществ. Любой атом азота, кислорода, серы и т.д. так же хорош, как любой другой того же рода. Что могло бы быть достигнуто их обменом? Что же тогда составляет то драгоценное нечто, содержащееся в нашей пище, что предохраняет нас от смерти?

Каждый процесс, явление, событие, все, что происходит в природе, означает увеличение энтропии в той части мира, где это происходит. Так и живой организм непрерывно увеличивает свою энтропию — или, говоря иначе, производит положительную энтропию и таким образом приближается к опасному состоянию максимальной энтропии, которое представляет собою смерть. Он может избежнуть этого состояния, то есть оставаться живым, только путем постоянного извлечения из окружающей его среды отрицательной энтропии. Отрицательная энтропия — вот то, чем организм питается. Или, чтобы выразить это менее парадоксально, существенно в метаболизме то, что организму удается освобождать себя от всей той энтропии, которую он вынужден производить, пока он жив.

Что такое энтропия? Это не туманное представление или идея, а измеримая физическая величина. При абсолютном нуле температуры (около  $-273^{\circ}\text{C}$ ) энтропия любого вещества равна нулю. Если вы переводите вещество в любое другое состояние, то энтропия возрастает на величину, вычисляемую путем деления каждой малой порции тепла, затрачиваемой во время этой процедуры, на абсолютную температуру, при которой это тепло затрачено. Например, когда вы расплавляете твердое тело, то энтропия возрастает на величину теплоты плавления, деленной на температуру при точке плавления. Вы видите из этого, что единица, которой измеряется энтропия,

есть кал/°С. Гораздо более важна для нас связь энтропии со статистической концепцией упорядоченности и неупорядоченности, связь, открытая исследованиями Больцмана и Гиббса по статистической физике. Она также является точной количественной связью и выражается

$$\text{энтропия} = k \log D$$

где  $k$  — постоянна Больцмана и  $D$  — количественная мера атомной неупорядоченности в рассматриваемом теле.

Если  $D$  есть мера неупорядоченности, то обратная величина  $1/D$  может рассматриваться как мера упорядоченности. Поскольку логарифм  $1/D$  есть то же, что отрицательный логарифм  $D$ , мы можем написать уравнение Больцмана таким образом:

$$-(\text{энтропия}) = -k \log(1/D)$$

Теперь неуклюжее выражение «отрицательная энтропия» может быть заменено лучшим: энтропия, взятая с отрицательным знаком, есть сама по себе мера упорядоченности. Средство, при помощи которого организм поддерживает себя постоянно на достаточно высоком уровне упорядоченности (= достаточно низкому уровню энтропии), в действительности состоит в непрерывном извлечении упорядоченности из окружающей его среды (для растений собственным мощным источником «отрицательной энтропии» служит, конечно, солнечный свет).

### Глава VIII. Основана ли жизнь на законах физики?

Все известное нам о структуре живого вещества заставляет ожидать, что деятельность живого вещества нельзя свести к обычным законам физики. И не потому, что имеется какая-нибудь «новая сила» или что-либо еще, управляющее поведением отдельных атомов внутри живого организма, но потому, что его структура отличается от всего изученного нами до сих пор.

Физикой управляют статистические законы. В биологии мы встречаемся с совершенно иным положением. Единичная группа атомов, существующая только в одном экземпляре, производит закономерные явления, чудесно настроенные одно в отношении другого и в отношении внешней среды, согласно чрезвычайно тонким законам.

Мы здесь встречаемся с явлениями, регулярное и закономерное развертывание которых определяется «механизмом», полностью отличающимся от «механизма вероятности» физики. В каждой клетке руководящее начало заключено в единичной атомной ассоциации, существующей только в одной копии, и оно направляет события, служащие образцом упорядоченности. Подобное не наблюдается нигде за исключением живого вещества. Физик и химик, исследуя неодушевленную материю, никогда не встречали феноменов, которые им приходилось бы интерпретировать подобным образом. Такой случай еще не возник, и поэтому теория не покрывает его — наша прекрасная статистическая теория.

Упорядоченность, наблюдаемая в развертывании жизненного процесса, возникает из иного источника. Оказывается, есть два различных «механизма», которые могут производить упорядоченные явления: «статистический механизм», создающий «порядок из беспорядка», и новый механизм, производящий «порядок из порядка».

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 черты которых явно основаны на принципе «порядок из порядка» и ничего, кажется, не имеют общего со статистикой или молекулярной неупорядоченностью.

Когда же физическая система обнаруживает «динамический закон» или «черты часового механизма»? Квантовая теория дает на этот вопрос краткий ответ, а именно — при абсолютном нуле температуры. При приближении к температуре нуль молекулярная неупорядоченность перестает влиять на физические явления. Это — знаменитая «тепловая теорема» [Вальтера Нернста](#), которой иногда, и не без основания, присваивают громкое название «Третьего Закона Термодинамики» (первый — это принцип сохранения энергии, второй — принцип энтропии). Не

следует думать, что это должна быть всегда очень низкая температура. Даже при комнатной температуре энтропия играет удивительно незначительную роль во многих химических реакциях.

Для маятниковых часов комнатная температура практически эквивалентна нулю. Это — причина того, что они работают «динамически». Часы способны функционировать «динамически», так как они построены из твердых тел, чтобы избежать нарушающего действия теплового движения при обычной температуре.

Теперь, я думаю, надо немного слов, чтобы сформулировать сходство между часовым механизмом и организмом. Оно просто и исключительно сводится к тому, что последний также построен вокруг твердого тела — апериодического кристалла, образующего наследственное вещество, не подверженное в основном воздействию беспорядочного теплового движения.

### **Эпилог. О детерминизме и свободе воли**

Из того, что было изложено выше, ясно, что протекающие в теле живого существа пространственно-временные процессы, которые соответствуют его мышлению, самосознанию или любой другой деятельности, если не вполне строго детерминированы, то во всяком случае статистически детерминированы. Это неприятное чувство возникает потому, что принято думать, будто такое представление находится в противоречии со свободой воли, существование которой подтверждается прямым самонаблюдением. Поэтому посмотрим, не сможем ли мы получить правильное и непротиворечивое заключение, исходя из следующих двух предпосылок:

1. Мое тело функционирует как чистый механизм, подчиняясь всеобщим законам природы.
2. Однако из неопровергимого, непосредственного опыта я знаю, что я управляю действиями своего тела и предвижу результаты этих действий. Эти результаты могут иметь огромное значение в определении моей судьбы, и в таком случае я чувствую и сознательно беру на себя полную ответственность за свои действия.

Мне думается, что из этих двух предпосылок можно вывести только одно заключение, а именно, что «я», взятое в самом широком значении этого слова — то есть каждый сознательный разум, когда-либо говоривший или чувствовавший «я», — представляет собой не что иное, как субъект, могущий управлять «движением атомов» согласно законам природы.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Я не вполне понял этот пассаж Шредингера. Замечу, что в послесловии, написанном переводчиком в 1947 г., философия Шредингера подвергается критике с позиций марксизма-ленинизма... ☺