

КАРЛ ПОППЕР

ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПОИСКА ИНВАРИАНТОВ ⁸³

18. Трехмерное пространство Парменида и современная теория относительности

Известный немецкий математик и физик Г. Минковский, подчеркивая неразрывное единство пространства и времени, поместил именно ту часть *ad hoc* спекуляции Больцмана, которая геометризует, или иначе опространствливает время, в самую сердцевину теории относительности; вслед за ним многие физики (хотя и не все) были убеждены, что оно составляет внутреннюю определяющую часть теории. Объективное соприсутствие пространственно-временного множества было принято как часть теории относительности, например Германом Вейлем и Куртом Геделем; Шрёдингер страстно верил в это; Эйнштейн определенно склонялся к тому, чтобы принять ту же интерпретацию, хотя он был далек от ее догматической версии.

Таким образом, после двадцати четырех столетий мы все еще имеем Два Пути — путь вполне завершенной истины и путь явлений или иллюзий. Собственная несомненно законченная истина Парменида кажется до некоторой степени похожей на трехмерную искривленную Вселенную Римана; Вселенная Эйнштейна, конечно, четырехмерна.

Историки науки или философы — те, кто не захотят приписать такому великому мыслителю, как Парменид, учение о столь же явно неземпирическом, как и иллюзорном характере мира изменений (это учение так же трудно принять, как и учение о том, что сознание является единственной вещью во Вселенной, которая подвержена изменению), возможно, пересмотрят свою точку зрения на отношение античного мыслителя к учению об иллюзии изменений, когда увидят, что такие великие ученые, как Больцман, Минковский, Вейль, Шрёдингер, Гёдель и особенно Эйнштейн, рассматривали вещи, подобно Пармениду, и изъяснялись удивительно похожим языком.

19. Существуют ли границы рациональности?

Эйнштейн — один из величайших и наиболее революционных мыслителей — был парменидианцем. Он часто называл себя Спинозистом, что почти то же самое; но, отвечая на прямо поставленный вопрос, признал — предположительно — свою большую близость к Пармениду.

⁸³ [Окончание. Начало см. ВИЕТ. 2002. № 4. С. 672–702.]

Прав ли был Эйнштейн? Является ли его вера истинной? Можно ли утверждать, что область мышления Парменида очерчивает действительные границы рациональности? Прав ли был Мейерсон, когда констатировал, что «объяснить означает объяснить окружение» и что все рациональное объяснение заключается в том, чтобы найти неизменяющуюся реальность, которая обосновывает идентичность причины и действия?

Возможно, что безумная на первый взгляд идея Парменида — отрицание реальности изменений — действительно может указать истинные границы всякой рациональности и всякой науки и ограничить познание исследованием инвариантов. И все это может быть принято всерьез. Но к этому приходится отнестись еще более серьезно, поскольку эта идея часто подвергалась нападкам со стороны всякого рода врагов рационализма, которые толковали о диалектической эволюции, или творческой эволюции, или эмерджентной эволюции, или о «становлении», не создавая, однако, никакой серьезной теории «становления», которая могла бы рационально, т. е. критически, подвергаться обсуждению.

На мой взгляд, принять подход Парменида всерьез — значит всерьез подвергнуть его критике.

Ради этого я намерен поступить следующим образом. Сначала необходимо сказать несколько слов об альтернативной интерпретации теории относительности. Затем я попробую показать, что подход Парменида неоднократно терпел крах в других областях физики, не разрушая при этом рациональности науки. Наконец, я попытаюсь обосновать непарменидову исследовательскую программу.

20. Теория относительности и индетерминизм

Иногда утверждается, что никто из серьезных физиков не был сторонником теории блок-Вселенной (теории замкнутого мира) и что борьба против этой теории — это борьба против ветряных мельниц. Для нашей дискуссии особенно существенно процитированное высказывание Больцмана, которое должно показать, что это не так: как уже отмечалось выше, *ad hoc* спекуляция Больцмана является последовательной лишь при условии, если мы допустим, что объективная физическая временная координата, не имеющая в себе направления, может в отдельных частях Вселенной проявляться в опыте как имеющая различные направления. Но это приводит не только к субъективному характеру направления времени, но и к тому, что временная координата в некотором смысле либо «безвременная», либо «соприсутствующая». Кратко говоря, это то геометризованное, или опространствованное время, о котором говорилось ранее.

Я достоверно знаю, что Шрёдингер страстно верил в парменидовскую *ad hoc* спекуляцию Больцмана. Из приведенных выше слов Вейля мне кажется ясным, что и он придерживался того же взгляда (хотя некоторые утверждают, что он только выразился метафизически). Да и Эйнштейну эта теория казалась по меньшей мере притягательной, и я очень хорошо знаю, что он был готов защищать ее. Так что перед нами нечто большее, чем ветряные мельницы.

Далее, как показывает процитированный отрывок Татьяны Эренфест [см. ВИЕТ. 2002, № 4], нет никакой необходимости слишком серьезно относиться к *ad hoc* спекуляции Больцмана. Ведь во всяком случае мы должны признать, что его замечательная статистическая механика оказалась не способной объяснить стрелу времени (или феноменологический закон энтропии), хотя он очень на это надеялся. Для того чтобы объяснять явления, — т. е. наблюдаемое увеличение энтропии, — необходимо иметь *какое-то* дополнительное предположение. Но у нас нет необходимости делать его столь же сильным, как спекуляция Больцмана: достаточно более слабого допущения, предложенного Эренфестами. Это допущение содержит вполне разумное предположение относительно условий, при которых могут существовать живые организмы. Вдобавок, и без того приемлемое, оно не является частью статистической механики; теперь оно уже нечто большее, чем спекуляция Больцмана. Поэтому мы теперь можем отбросить исключительно метафизическую *ad hoc* спекуляцию Больцмана, которая геометризует или опространствливает время.

Значительно более важные аргументы следуют из принципа относительности; и специальная, и общая теории относительности — каждая по-своему — утверждают, что пространство и время неразрывно связаны, причем специальная теория делает более сильное утверждение.

Допустим, что имеются две инерциальные системы F_1 и F_2 , которые находятся в относительном движении. Обозначим M_1 и M_2 точки, которые находятся в состоянии покоя, соответственно в системах F_1 и F_2 . И пусть M_1 и M_2 совпадают (более или менее точно) в момент времени t , который можно считать одним и тем же моментом времени (скажем, 11.10) согласно часам как в F_1 , так и в F_2 .

Тогда в мире всегда будут такие события e , e' , e'' , ..., которые в F_1 совершатся «до момента t », а в F_2 «после момента t ». Это будет происходить в соответствии с любым последовательным определением одновременности, а следовательно, и понятий «до момента t' » и «после момента t' ».

Это весьма серьезный удар по привычным представлениям о времени, требующий их корректировок: оказывается, что здравый смысл диктует нам определенную *теорию времени* (назовем ее ньютоновской). Она должна быть критически пересмотрена в свете открытий Эйнштейна. Таким образом, пространство и время находятся не совсем в тех отношениях, которые мы наивно полагаем. Точнее: привычное представление о *едином универсальном времени*, — управляемом всеми событиями в отдаленных физических системах и находящихся в различных состояниях движения, — должно быть оставлено.

Однако надо подчеркнуть, что сказанное не вводит *никакого элемента субъективности*. Если принято универсальное и последовательное определение одновременности, тогда оно имеет силу для любых двух инерциальных систем F_1 и F_2 (т. е. вполне объективно), при этом «перед t в F_1 » и «после t в F_1 », вообще говоря, не будут совпадать с «перед t в F_2 » и «после t в F_2 », и это определение вполне объективно, как бы ни соотносились эти характеристики.

Поэтому ошибочно думать, что теория относительности необходимым образом вводит «наблюдателя» и что «субъективные» временные отношения зависят от наблюдателя: так называемый «наблюдатель» — это просто символ,

метафора, подразумевающая более абстрактное понятие «инерциальной системы». В теории нет никакой субъективности, никакого сознания.

Но теория предполагает, что любое измерение времени будет определенным образом зависеть от *состояния движения*, т. е. от той инерциальной системы, в которой часы, используемые для измерения, находятся в покое. Измерение времени будет зависеть соответственно от времени и пространства. Время больше неотделимо от движения и, таким образом, от пространства: пространство и время неразделимо связаны.

Этот результат, однако, допускает различные интерпретации. Необязательно понимать его как необходимость в уподоблении времени пространству, геометризацию его. Наоборот, мы свободны интерпретировать его прямо противоположным образом: как нечто вроде частичного уподобления пространства времени, его темпорализации, — графическое представление времени в виде пространственной прямой не должно вводить нас в заблуждение. Теория утверждает всего лишь наличие четырехмерного пространственно-временного многообразия, в котором «времени подобные мировые линии» не являются «абсолютно» подобными времени в ньютоновском смысле.

Интерпретация общей теории относительности, неявно подразумевающая возможность «темпорализации» пространства, была дана Джоном Арчибалдом Уилером, который на протяжении многих лет подчеркивал *динамический* характер якобы предпринятой Эйнштейном «геометризации мира»: он называл теорию Эйнштейна «геометродинамикой». Тем самым, я полагаю, он хотел подчеркнуть, что геометрия Эйнштейна — это изменяющаяся геометрия — геометрия, которая взаимодействует сама с собой и изменяет свое состояние под воздействием предшествующих состояний.

Я говорю об этом, чтобы показать: признание теории относительности не обязывает нас принимать и что-то вроде теории блок-Вселенной Вейля, к которой спекуляция Больцмана склонила и Шрёдингера.

Следует иметь в виду одну важную особенность любой подобной интерпретации, — она подталкивает нас к *метафизическому детерминизму*. Этими словами я обозначаю детерминизм, подразумевающий божественное всезнание (с Богом или без него) относительно будущих событий, так как все случаемое в будущем заранее зафиксировано — будь то в силу естественных законов или по воле случая — события либо подчиняются вероятностным правилам, либо совершаются вообще без всяких правил: даже частично хаотичная Вселенная может мыслиться как метафизически детерминистическая. В театре хаос на сцене может минимально ограничиваться (режиссером), но заснятый на пленку он будет каждый раз в точности воспроизводиться, даже если никакой режиссер этого не предполагает.

Для меня метафизический детерминизм представляется противоположным здравому смыслу. Конечно, здравому смыслу приходится отступать, когда имеются сильные рациональные аргументы против привычных взглядов, но все же от них не следует отказываться (хотя следует испытать и противоположные взгляды) до тех пор, пока эти рациональные аргументы не окажутся достаточно сильными. А аргументы в пользу детерминизма мне вообще не кажутся сильными.

На мой взгляд, в соответствии со здравым смыслом мы должны допустить, что для любого момента времени t_n наступающее вслед за t_n будущее в значительной мере открыто: в какой-то мере мы в состоянии на него влиять, и в какой-то мере (но не более того) мы можем его предвидеть. Оно детерминировано, как в смысле научного предсказания, так и в метафизическом (а может быть, и в онтологическом) смысле; но только частично. (Любая система, которая не полностью детерминирована, конечно, должна рассматриваться как индетерминистическая.)

Если мы считаем будущее открытым в этом смысле, то все варианты физических теорий, которые рассматривают время, или изменения, как-то по-другому, представляются не только метафизическими, но и *произвольными*. Они являются, как и все формы идеализма, *неопровержимыми*. Идеалист, который (подобно Беркли или Шопенгауэру) утверждает, что мир это его идея или его сон, не может быть опровергнут. Но он и не может претендовать на научный статус своего утверждения: оно непроверяемо. Подобным образом непроверяем тезис об уподоблении времени пространству — если только мы не в состоянии и в самом деле построить машину времени, что, как я думаю (в противоположность Гёделю), приводит к непреодолимым логическим трудностям.

Таким образом, не видно достаточных оснований для того, чтобы отказываться от привычных, продиктованных здравым смыслом представлений о мире как метафизически недетерминированных, а следовательно несовместимых с опространствливанием времени.

Кроме этих до некоторой степени отрицательных аргументов, указывающих на то, что в теории относительности нет ничего, что заставило бы нас принять теорию блок-Вселенной, имеется другой, и более сильный, аргумент против любой теории, которая связала бы проблему относительности времени, или его направленности, с человеческим сознанием.

Всякий, кто разделяет взгляды Парменида или считает объективно реальную Вселенную замкнутой, конечно, должен поддерживать некую субъективную теорию времени, которая делает время и изменение иллюзией нашего сознания. Иллюзия или сознание оказывается не более чем приложением к реальному миру. Но это создает огромные трудности, так как иллюзия изменения *в свою очередь* оказывается *реальной* иллюзией: ведь мы *действительно* переживаем изменения. А это означает, что наше сознание и в самом деле изменяется. Как мы можем согласовать это изменение с объективно неизменным миром? Проблема эта кажется мне неразрешимой; а если и разрешимой, то во всяком случае бесплодной псевдопроблемой. Если в мире существуют хоть какие-то изменения, пусть даже изменяющиеся иллюзии, это означает, что изменения существуют. (Киноплёнка существует сразу целиком, но для того, чтобы создать для нас иллюзию движения, или изменения, плёнка должна пройти через проектор — т. е. двигаться и изменяться.) А если изменения все-таки реальны, необходимо отказаться от идей Парменида или радикально преобразовать их.

Конечно, восприятие изменения зависит не только от изменяющегося окружения, но и от изменения нашего сознания, именно так мы воспринимаем изменение размера, формы или цвета тела. Но сознание кажется вполне способ-

ным расшифровывать (с помощью теорий и предположений) важные для нас реалии окружающего мира, в том числе его изменчивость. Для этого нам необходимы теории, и мы создаем их — например, заволаживающую теорию пространства — времени, придуманную Ньютоном и революционным образом преобразованную Эйнштейном.

Сказанным я завершаю обсуждение наиболее радикальной формы «парменидизма» (конечно, в его континуалистской, а не атомистической версии) в современной физике. Теперь я обрисую, как происходит возникновение некоторых непарменидовых аспектов физики, чтобы показать, что нам не следует бояться подрыва ими рациональности вообще.

21. Возникновение непарменидовых воззрений в физике

Все, связанное с законом возрастания энтропии, является антипарменидовым, хотя это может стать ясным, — как это имело место с *ad hoc* спекуляцией Больцмана, — только при описании апологии идей Парменида, что было отчетливо осознано Мейерсоном.

Любая парменидова или близкая к парменидовой физика, очевидно, должна быть обратимой во времени. Но Карно и Клаузиус (а также здравый смысл) требуют, чтобы мы обратили внимание на необратимость. Наша собственная жизнь и наша смертность должны убедить нас, что некоторые (если не все) природные процессы фактически необратимы.

Исаак Ньютон понял это задолго до Клаузиуса и открытия закона энтропии. Он учил, что Вселенная брэнна; и потому современные ему схоласты обвиняли его в безбожии. Несовершенство творения, говорили они, бросает тень на мудрость и совершенство Первой Причины — Создателя Вселенной⁸⁴. Об этом хорошо сказано другом Ньютона — Пембертоном:

Я полагаю, будет некорректно упоминать размышление нашего замечательного автора об этих небольших отклонениях в движении планет, содержащее весьма убедительный философский аргумент против вечности мира. Он заключается в том, что эти отклонения должны непрерывно накапливаться мало-помалу до тех пор, пока они не приведут наконец нынешнюю систему природы в состояние, непригодное для тех целей, ради которых она служит. И невозможно желать более убедительного доказательства, чем это, против представления о нынешнем устройстве мира как существующем от вечности, и это устройство спустя некоторое время приведет мир к концу. Я знаком с этими мыслями нашего автора, которые выглядят как нечестивые и как будто бы бросают тень на мудрость Создателя природы, так как созданное им оказывается брэнным⁸⁵.

⁸⁴ [Ньютон. Оптика. М., 1954. С.305.]

⁸⁵ Henry Pemberton. A View of Sir Isaac Newton's Philosophy. London, 1728. P. 180. В процитированном отрывке Пембертон делает ссылку на лондонское издание «Оптики» Ньютона 1721 г., с. 378.

Далее Пембертон переходит к защите Ньютона. Она основательно аргументирована, хотя и оказывается в высшей степени антипарменидовской⁸⁶. Он писал:

Тело каждого животного обнаруживает безграничную мудрость его создателя не менее, а во многих отношениях даже и более, чем система природы в крупном масштабе; и все же мы видим, что все они задуманы для существования только в течение небольшого промежутка времени.

Следовательно, Ньютон не верил в обратимость, вопреки очевидной обратимости ньютоновской динамики, и у него были основательные аргументы. В действительности с современной точки зрения их можно было бы назвать термодинамическими, так как среди прочего Ньютон ссылаясь на трение, которое возникает в результате приливов.

Лаплас и вовсе отвергал любого Создателя — даже такого несовершенного, как у Ньютона. При помощи своего последовательного детерминизма он ввел идею Парменида в ньютонову динамику, закрепив ее господство в механике (в том числе и в теории Эйнштейна) более чем на столетие. Наверное, это и было главной целью Лапласа, мотивирующей его исследования как в механике, так и в математике.

Любопытно отметить, что (ньютоновская) механика сплошной среды и (классические) теории поля имеют дело с системами, предполагающими некоторые расширения за своими пределами, как пространственными, так и временными. (Граничные условия должны быть заданы для каждого момента времени, вообще говоря, даже для отыскания приближенного решения, отделенного от начального состояния значительным промежутком времени.) Поэтому идея Лапласа, заключающаяся в том, что начальные условия для одного момента времени определяют поведение (замкнутой) механической системы в любой другой момент времени, оказывается ошибочной (даже для замкнутых или изолированных систем); эта идея справедлива только для механики материальных точек.

На смену программе Лапласа пришла оптика Юнга и Френеля (можно даже сказать: принцип Гюйгенса): дифракционная решетка должна быть продолжена в пространстве — в принципе до бесконечности, и спектральное разложение света возможно только при условии, что *процесс* падения света на решетку протяжен во времени, — тоже в принципе до бесконечности. Таким образом, уж в *классической физике* идея мгновенных состояний рушится: хотя она позволяет приближенно рассматривать газ или «сплошное тело» как системы материальных точек, это не так для классической (волновой) теории света. (Это, вообще говоря, неверно и для таких систем, как флейты и скрипки⁸⁷.)

⁸⁶ Pemberton. Op. cit. P. 181.

⁸⁷ Звуковые волны в воздухе (но необязательно в твердом теле) можно интерпретировать как совокупность микроскопических движений, образующих волны (или сгущения и разрежения). Световые волны, падая на решетку, вступают с ней во взаимодействие, в идеальном случае бесконечно протяженное в пространстве и времени. Я полагаю, что взаимодействие звуковых волн со скрипкой (или даже с камертоном, т. е. воздействие камертона как целого на его отдельные

Крушение универсальной применимости самой идеи мгновенных физических состояний дает нам физическое основание для теории, рассматривающей сознание протяженным во времени. (Эта протяженность часто называется «ложным настоящим».) В самом деле, мы не могли бы видеть (или реагировать на) цвета, если бы наше сознание включало в себя последовательности строго мгновенных состояний⁸⁸.

Это позволяет также понять, почему следует отказаться от традиционного различения (которое восходит к «Двум Путям» Парменида) между первичными и вторичными качествами. Физические поверхности, протяженные в пространстве, это нечто большее, чем простая совокупность частиц-точек, поскольку они взаимодействуют со светом, как дифракционная решётка (т. е. целостным образом)⁸⁹, и поэтому представляют собой физические единые сущности, простирающиеся во времени и в пространстве. Более или менее то же самое происходит во всех физических процессах, которые формируют физическую основу для так называемых «вторичных качеств». Эти процессы — взаимодействие поверхностей со светом (где оказываются существенными цветоинвариантные свойства и другие свойства поверхностей) — с физической точки зрения так же «первичны» по характеру, как (зависящие от температуры) молекулярные процессы, которые определяют жесткость и инвариантность форм твердых материальных систем. Сходным образом опытные восприятия «первичных» и «вторичных» качеств носят тот же самый характер: оба рода восприятий зависят от интерпретации или расшифровки организмом физических процессов (сигналов), в которых организм использует, скорее, теории, открываемые посредством отбора, чем инструкции. Возможно, было бы лучше говорить о физических («первичных») процессах и соответственно об умственных («вторичных») процессах.

Протяженность во времени факторов, определяющих физическое состояние, резко ограничивает в рамках классической физики меру предсказуемости событий и меру проверяемости предсказаний, за исключением специального случая изолированных систем материальных точек, не взаимодействующих

молекулы) и взаимодействие света со структурами вроде дифракционной решетки можно рассматривать как примеры «обратного обоснования» (*downward causation*), если воспользоваться термином, предложенным Дональдом Кэмпбеллом. (См. также S. I. B., p. 146.)

⁸⁸ Из факта, что распознавание цвета глазом (при том что он остается тем же самым) требует определенного времени, Гоббс сделал вывод, что свет должен быть процессом, подобным распространению колебаний (*Thomas Hobbes. Tractatus Oprius. Edizione integrale di Franco Alesio // Rivista critica di storia della filosofia. Anno XVIII. Fasc. II. 1963. P.147–288; см. также: Hobbes. De Corpore // Elements of Philosophy. The English Works of Thomas Hobbes. Vol. 1. London, 1839 (2nd reprinting, Darmstadt, 1966). P. 79.*

⁸⁹ Решетка (как и призма) действует на протяженную во времени световую волну, отражая различные цвета (т. е. различные монохроматические его составляющие) под различными углами. Но способность решетки к этому в значительной степени определяется ее *размером*: маленькая решетка — это плохая решетка, по крайней мере она будет не так хороша, как та решетка, что получается из ее наращивания. Так что здесь мы имеем пример холизма в физике (см. также мою книгу «Poverty of Historicism». London, 1957. P. 82f), а также пример *обратного обоснования*. (Как говорилось в сноске 87, хорошим примером обратного обоснования служит камертон: если укоротить ему ножки, то сменится и его тон, т. е. все его молекулы будут двигаться иначе.)

щих ни с каким полем. Поэтому тут имеет место *частичная*, а не полная детерминированность, — т. е. индетерминизм (или «случайность», по крайней мере в каком-то из смыслов этого слова)⁹⁰.

22. Демон Максвелла

Со времен Даниила Бернулли и Лапласа теория случайностей дежурит у порога физической теории. Она вторглась на территорию последней вместе с кинетической теорией газов (позднее развитой в статистическую механику) Клаузиуса, Максвелла, Больцмана, Планка, Гиббса и Эйнштейна; и, несмотря на мощное сопротивление, она почти целиком поглотила теоретическую термодинамику, основанную Сади Карно.

Не может быть никаких сомнений относительно фундаментально антипарменидовского характера термодинамики и исходной программы кинетической теории (статистической механики). Но кинетическая теория с самого начала содержит ростки конфликта парменидовой и антипарменидовой тенденций: эта теория была попыткой обоснования антипарменидовой термодинамики, сведением ее к уравнениям, выведенным из парменидовых атомистических принципов. Главная цель этой теории по меньшей мере в течение долгого времени заключалась в том, чтобы вывести из этих существенно *обратимых уравнений* существенно *необратимое неравенство* термодинамического закона энтропии (Клаузиус окрестил его «вторым началом термодинамики»: исторически это был первый закон, восходящий к Карно, и он может быть назван принципом Карно — Кельвина — Клаузиуса). Клаузиус интерпретировал закон энтропии как смертельный приговор Вселенной («тепловая смерть»); очевидно радикальная антипарменидова идея. В течение долгого времени этот смертный приговор рассматривался весьма серьезно, хотя закон возрастания энтропии, как это показывают многие контрпримеры, вообще говоря, неприменим к открытым системам⁹¹. (Не следует забывать, что во времена Клаузиуса, до появления общей теории относительности, космология уже сделала шаг от замкнутого мира к бесконечной Вселенной, но еще не двинулась от бесконечной Вселенной к замкнутому миру.)

Впервые напряжение между парменидовыми и антипарменидовыми тенденциями в кинетической теории почувствовалось в 1871 г., когда Максвелл придумал своего знаменитого «демона» — первую большую загадку кинетической теории.

Хорошо известно, демон Максвелла нарушает закон энтропии посредством диафрагмы, вставленной в сосуд, наполненный газом, и заслонки, подогнанной к крошечному отверстию в диафрагме. Демон закрывает заслонку всякий

⁹⁰ См. мою «Quantum Theory and the Schism in Physics». Totowa, N. J., 1982. P. 54–60. Там указывается, что соотношение неопределенности Гейзенберга является прямым следствием свойств классического осциллятора, а значит, и классической теории колебаний; а она в свою очередь отражает существенную пространственно-временную протяженность полей, как говорилось выше.

⁹¹ Причиной служит экспорт энтропии, произведенной в открытой системе, в соответствии с уравнением Онзагера.

раз, когда быстрая молекула приближается слева или медленная молекула справа. Посредством такой сортировки молекул он собирает слева от себя быстрые молекулы, получая там более нагретое состояние газа, а справа — медленные молекулы, создавая там более холодное состояние; при этом энтропия всей системы уменьшается. Ныне демон Максвелла уже не молод, но все еще достаточно силен. Хотя многочисленные покушения на его жизнь начались почти со дня его рождения и хотя многократно доказывалось, что его не существует, тем не менее он отметил свой столетний юбилей в совершенном здравии и расцвете сил. А вот я уверен, что он переживет всех нас, тогда все доказательства и объяснения невозможности его существования окажутся несостоятельными быстрее, чем их придумывали.

Одно из наиболее изящных доказательств существования демона Максвелла представил Деннис Габор. Он сконструировал модель, показывающую, что демон может существовать согласно классической физике, не квантовой⁹². По Габору, демон достаточно умен, чтобы избежать какого-либо классического опровержения его существования, которое показывало бы, как замечает Габор, что второй закон неприменим в классической физике и становится выполненным только в квантовой.

Модель демона Максвелла, предложенная Габором, не является общепринятой (как сказал мне Габор), в весьма выразительной манере он доказывал мне, что нет согласия в вопросе о демоне даже после почти столетнего интенсивного исследования.

Я согласен с Габором, что мы можем сконструировать демона Максвелла достаточно умным, чтобы совладать с классической физической системой; но Габор не убедил меня в том, что квантовая система не по зубам такому умному демону. Ясно, что его сообразительности хватит для решения проблем, связанных с большими молекулами (даже если предположить, что классическая физика потеряла своё значение и квантовая вступила в силу), чтобы гарантировать демону успех.

Я утверждаю, что возможность его успеха прямо следует из первой статьи Эйнштейна о броуновском движении⁹³. В этой статье Эйнштейн совершенно ясно говорит, что «классическая термодинамика (т. е. второй закон) не может больше рассматриваться как вполне применимая даже к телам различного под микроскопом размера». Эйнштейн показывает, что на диафрагму, пронизываемую для жидкости (или для газа), осмотическое давление будет оказываться не только самим *раствором*, но и *любыми* «малыми взвешенными частицами», относительно которых всегда предполагается, что диафрагма для них непроницаема.

⁹² *Gabor, Dennis*. MIT Lectures, 1951. На эти лекции ссылается Леон Бриллюэн: *Brillouin, L.* Science and Information Theory. N. Y., 1956. P. 179–182.

⁹³ *Einstein, A.* Die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen // *Annalen der Physik*. Bd. 4. Heft 17. 1905. S. 549–560. Английский перевод Коупера: *A. Einstein. Investigations on the Theory of the Brownian Movement* / Ed. by R. Fürth. London, 1926, 1956. P. 1–18.

Это означает, что мы можем создать демона Максвелла и построить реально существующий, хотя весьма мало эффективный, вечный двигатель второго рода. Опишем, как это возможно.

Внутри стеклянного цилиндра поместим поршень с небольшими отверстиями, через которые легко может проходить воздух. (Предполагается, что конструкция поршня не должна достигать концов цилиндра.) Слева от поршня поместим небольшой воздушный шарик, однако достаточно большой, чтобы он не проходил сквозь отверстия. Согласно расчетам Эйнштейна, осмотическое давление будет сдвигать поршень вправо.

Если мы хотим обратить движение поршня в другую сторону, то нам стоит лишь сыграть роль демона Максвелла. В данном случае это сделать нетрудно: снабдим поршень отверстием и заслонкой; при этом отверстие должно быть достаточно большим, чтобы шарик через него проходил свободно. Подождем, пока шарик пройдет сквозь отверстие слева направо, и закроем заслонку. Справа от поршня возникнет избыток давления.

Этот механизм можно упростить и заслонку даже не опускать, можно вообще ничего не делать, если только максвеллово отверстие в поршне меньше по сравнению с диаметром поршня, поэтому шарик будет весьма редко проходить сквозь него. В этом случае направление давления будет меняться только после довольно продолжительного отрезка времени.

Те, кто знают хотя бы немного историю теории информации, сразу увидят, что мой вечный двигатель (работает автоматически и без какого-либо поступления информации) опровергает знаменитый мысленный эксперимент, опубликованный Лео Сцилардом в 1929 г.⁹⁴ Леон Бриллюэн говорит об эксперименте Сциларда, что он «впервые показал связь между информацией и энтропией»⁹⁵. Я опасаясь, что это придется проделать еще раз. (Конечно, я не подвергаю критике формулу Шеннона, которую буду обсуждать далее в разделе 28.)

Эти рассуждения показывают, что сомнение, предположительно высказанное в моей статье 1957 г., вполне может оказаться верным⁹⁶. Оно заключается в том, что «газ или жидкость в замкнутой тороидальной трубке, снабженной односторонним клапаном» (открывающимся при весьма слабой нагрузке), будет «постоянно циркулировать в трубке», хотя, конечно, очень медленно⁹⁷. Ту же идею можно изложить и в более сильных выражениях, подождав подольше, — несколько миллиардов лет, — и спустившаяся шина сама надуетса обратно.

⁹⁴ См. *Leo Szilard. Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenten Wesen // Zeitschrift für Physik. Bd. 53. 1929. S. 840–856.*

⁹⁵ См. *Brillouin. Op. cit. P. 176.*

⁹⁶ Речь идет о моей статье: *Irreversibility; or, Entropy since 1905 // British Journal for the Philosophy of Science. Vol. 8. 1957. P. 151–155.*

⁹⁷ Здесь важен контекст и осторожные выражения. Реальная машина не сможет работать по такому принципу из-за трения. Однако моя идеализация значительно менее искусственна, чем та, которую принимают Сцилард и Бриллюэн. (В статье, упомянутой в предыдущей сноске, я также критикую статью Сциларда 1929 г.)

Как показывает эта конструкция, мы можем обойтись автоматическим демоном Максвелла, работающим без какой-либо информации, поступающей извне. Это весьма интересно, так как разрушает типичную апологию Парменида.

Согласно Максвеллу (и Сциларду), если бы мы обладали такими же сообразительностью, ловкостью и знаниями, как и демон (которых у нас не может быть, ибо мы всего лишь ошибающиеся смертные), — то мы и сами могли бы нарушать закон возрастания энтропии; а это значит — мы могли бы восстановить обратимость в физике и вернуть в ней власть Парменида.

Все это равносильно утверждению, что антипарменидова необратимость возникает из нашей недостаточной информированности: мы не демоны Максвелла, а ошибающиеся смертные. Так что неудача парменидианизма, его «Пути истины», объясняется так, как объяснял (по крайней мере отчасти) сам Парменид, — нашим незнанием, отсутствием информации, доступной человеку. Перед нами по-прежнему Два Пути Парменида — путь истины, обратимость мира, в котором причина и действие равны и ничего принципиально нового произойти не может, и мир необратимости, или эволюции. Согласно фон Нейману⁹⁸, этот второй мир, мир явлений (хотя не совсем мир иллюзий) обязан своим существованием, по меньшей мере частично, специфической ограниченности смертных людей и их действиям.

Увиденный таким образом демон Максвелла предвещал то, что позже Гейзенберг назвал «трудностью отделения субъективного и объективного аспектов мира», трудностью, возникавшей в силу того факта, что «невозможно установить, кроме как произвольно, что является частью наблюдаемой системы, а что ...частью аппарата наблюдателя»⁹⁹. В условиях распада исследовательской программы Парменида, характерной для нашего времени, мы на каждом шагу в физике встречаем ту или иную форму апологии Парменида. То и дело различные части его «Пути мнения» неожиданно предстают как объяснения наблюдаемого непарменидового меняющегося мира — как апология его несовершенства. Для современного физика апология Парменида заключается в том, что наблюдатель, т. е. «субъект» (как первоначально назвал Гейзенберг), неизбежно вторгается в мир объективной физики и субъективизирует его. Эта апология апеллирует (по примеру Парменида) к неискоренимому незнанию смертных людей.

23. Защита атомизма Больцманом

Весьма сожалею, что не могу здесь подробно рассказать об удивительной и трагической жизни Людвиг Больцмана, который был венским апостолом

⁹⁸ John von Neumann. *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. Princeton, 1955. P. 419–421 (или немецкое издание 1932 г., с. 223 и далее). Согласно фон Нейману (лишь слегка заострившему постановку вопроса у Бора и Гейзенберга), атом не обладает ни положением, ни импульсом до тех пор, пока его импульс или положение в пространстве не измерены. Таким образом, есть мир вещей в себе, который оборачивается миром явлений благодаря нашему вмешательству: а значит, мы можем знать только мир явлений.

⁹⁹ Werner Heisenberg. *The Physical Principles of the Quantum Theory*. N. Y., 1930. Первая цитата взята со с. 65, вторая со с. 64. [...]

Максвелла и который основательно подправил максвелловскую теорию газов и почти довел ее до завершения¹⁰⁰. Больцман — один из величайших умов своего времени, выдающийся физик, оригинальный философ, отчетливо опиравший гипотетико-дедуктивный метод, ученый высочайшего уровня — видел, что неизбежный в кинетической теории парадокс Парменида угрожал его достижениям и даже частично разрушал их. Его кинетическая теория энтропии подвергалась нападкам со всех сторон; и в самом деле она была шаткой. Первоначально Больцман полагал, что он сможет дать строгий вывод закона энтропии из механических предпосылок; но в 1877 г., отвечая на критику Лошмидта¹⁰¹, он отказался от этой программы, заменив ее иной, — показывающей, что «поскольку существует больше бесконечных множеств однородных распределений состояния, чем неоднородных» (т. е. бесконечно больше состояний с равновесным распределением, чем с неравновесным), то случайное отклонение от равновесного состояния в сторону неравновесного может рассматриваться как «практически невозможное». Больцман снисходительно признает, что «теорема Лошмидта представляется весьма важным достижением, так как она показывает, что второй закон термодинамики внутренне связан с теорией вероятности, тогда как первый закон не зависит от нее»¹⁰².

Так возникла вероятностная форма кинетической теории, т. е., собственно, статистическая механика (хотя, как указывает Больцман, «Клаузиус, Максвелл и другие ранее неоднократно говорили, что теоремы теории газов носят характер статистических утверждений»¹⁰³). Ее результаты были необычайно плодотворны. Но снова возник парадокс Парменида, причем именно в тот момент, когда атомистическая теория была атакована со всех сторон, в особенности со стороны Маха и Оствальда; а в 1893 г. Пуанкаре заметил, что он сомневается в любом выводе, согласно которому «обратимость находится в предпосылках, а необратимость в выводе»¹⁰⁴.

¹⁰⁰ Сейчас часть этой истории уже рассказана в моей книге: *Unended Quest*. N. Y., 1930. Разделы 35 и 36.

¹⁰¹ *J. Loschmidt*. Über den Zustand des Wärmegleichgewichtes eines Systems von Körpern mit Rücksicht auf die Schwerkraft // *Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Wien*. Bd. 73. 1876. S. 128 и 366. Больцман ответил своими *Bemerkungen über einige Probleme der mechanischen Wärmetheorie* // *Sitzungsberichte...* Bd. 75. 1877. S. 67–73 (см. также его *Wissenschaftliche Abhandlungen*. Bd. 2. Leipzig, 1909. S. 116–122). Вслед за этой статьей вскоре последовала другая: Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung, respective den Sätzen über das Wärmegleichgewicht // *Sitzungsberichte...* Bd. 76. 1877. S. 373–435 (или *Wissenschaftliche Abhandlungen*. Bd. 2. S. 164–223), в которых Больцман сформулировал свое соотношение между энтропией и вероятностью. Критика Лошмидта заключалась в том, что из кинетической теории не может следовать закон энтропии; в противном случае обращение векторов всех скоростей на противоположные привело бы систему в исходное положение с минимальной энтропией.

¹⁰² *Boltzmann, L.* *Bemerkungen...* S. 72 (*Wissenschaftliche Abhandlungen...* Bd. 2. S. 121).

¹⁰³ *Boltzmann, L.* *Entgegnung auf die wärmetheoretischen Betrachtungen des Herrn E. Zermelo* // *Annalen der Physik*. Bd. 3. Heft 57. 1896. S. 773 (*Wissenschaftliche Abhandlungen...* Bd. 3. S. 567). [...]

¹⁰⁴ *Poincaré, H.* *Le mécanisme et l'espérance* // *Revue de métaphysique*. Vol. 1. 1893. P. 534–537; приведенная цитата на с. 537.

В этот момент, в 1896 г., Больцман потерпел жестокое поражение от неизвестного тогда молодого физика Эрнста Цермело. Статьи Цермело¹⁰⁵, которые в сущности в утонченной форме повторяют аргументы Лошмидта, основывались на теореме Пуанкаре и были не очень ясно написаны; были в них и свои недоразумения. Это особенно заметно в первой статье, на которую Больцман ответил более или менее в духе своего ответа Лошмидту: кинетическая теория энтропии дает только вероятностное заключение, хотя с подавляющим перевесом (значение его Больцман точно подсчитал) в пользу увеличения энтропии. На это Цермело ответил (не очень ясно и опять смешивая вещи, не относящиеся к существу дела), что согласно теореме Пуанкаре (истинность которой Больцман признавал) вероятностное рассмотрение также должно быть обратимым, иначе говоря, — кривая энтропии (H-кривая Больцмана) должна быть симметричной по отношению к времени.

Этот новый, однако очевидный, аргумент был сразу же принят Больцманом. Тот, кто прочитает его ответ, не сможет не почувствовать, насколько силен был удар. И тем не менее Больцман продолжал мужественно защищать атомную теорию, которая в действительности и была подлинной целью нападков его оппонентов. Он указывал, что все остается правильным, если мы сделаем «допущение A (его, конечно, невозможно проверить), что Вселенная... или по меньшей мере весьма большая ее часть, которая непосредственно нас окружает, началась с весьма невероятного состояния и все еще находится в невероятном состоянии». Другими словами, Больцман сделал допущение, позднее еще раз сформулированное Татьяной Эренфест (проецированное выше). А затем он перешел к изложению своей смелой *ad hoc* спекуляции, которую я уже детально обсудил выше, — направление времени есть субъективная иллюзия, она определяется направлением увеличения энтропии. Это, как мы уже видели, предполагает опространствливание, или «соприсутствие», всех точек временной координаты.

В действительности, как я уже заметил, такое рассуждение означает отказ от программы выведения закона энтропии из механики: даже статистический вывод тут не годится. Существенные предпосылки — будь то «допущение A» или *ad hoc* спекуляция — не находятся больше в области теории. Вероятно, Больцман недостаточно ясно видел, от чего ему приходится отказываться; по крайней мере он нигде явно не признавал свое поражение. Но он должен был почувствовать его. Он так же чувствовал и соответственно утверждал, что атомистическая статистическая теория важнее феноменологического закона энтропии (позиция правильная, но Цермело и Мах относились к ней с насмешкой и презрением). Пуанкаре, величайший физик среди современников Больцмана — на десять лет моложе Больцмана — находился среди его оппонентов, а враждебность Маха, по словам ученика Больцмана Фламма¹⁰⁶, была очень язвительна. Все эти атаки были направлены против веры Больцмана в атомизм.

¹⁰⁵ Zermelo, E. Ueber einen Satze der Dynamik und die mechanische Wärmetheorie // Annalen der Physik. Bd. 3. Heft 57. 1896. P. 485–494; Heft 59. 1896. S. 793–801.

¹⁰⁶ Broda, E. Ludwig Boltzmann. Vienna, 1955. S. 27.

В 1898 г. Больцман писал:

Я осознаю себя совершенно одиноким, слабо сопротивляющимся потоку времени. Но в моих силах все же остается сделать нечто, чтобы гарантировать, что однажды, когда теория газов вновь обретет силу, придется переоткрывать не слишком много ¹⁰⁷.

Теперь мы знаем, восемь лет спустя — в тот момент, когда «поток времени обернулся» — Больцман совершил самоубийство. Как говорит Фламм, он умер мучеником своих идей ¹⁰⁸.

24. Разрешение парадокса второго закона термодинамики

Больцман оказался жертвой парадокса. Решение парадокса простое. Больцман не раз находил его; но ему оно казалось *ad hoc*, таковым не являясь.

Хотя кинетическая и статистическая теории претендуют найти вывод закона энтропии, они не могут этого сделать в силу того, что эмпирически и феноменологически закон энтропии ложен. Результат, который действительно выводится из теории, является лучшим приближением к истине, чем эмпирический закон. Больцман действительно так говорил; но он не говорил, что здесь нет никакого парадокса. Он не говорил, что Ньютон пытался вывести законы Кеплера и Галилея, но вместо этого вывел нечто лучшее. Он не увидел, что эта теория одно из величайших достижений, хотя вместо ожидаемых результатов дает лучшие (т. е. более близкие к истине), пусть и не получившие пока эмпирического подтверждения ¹⁰⁹.

За год до смерти, работая над вторым ответом Цермело, Больцман действительно обдумывал следствия закона энтропии, которые Эйнштейн потом успешно вывел из статистической механики (в своей статье о броуновском движении) ¹¹⁰. Там Больцман писал:

Я утверждаю только, что механистическая картина мира согласуется (с законом энтропии. — К. П.)... во всем, что в действительности может наблюдаться. Тот же факт, что она предполагает возможность каких-то новых наблюдений — например, за движением малых частиц жидкости или газа... не дает оснований отказываться от нее...

Подобные рассуждения подготовили почву для первой победы механической теории: Вильгельм Оствальд изменил свою позицию, убежденный совпадением количественных предсказаний теории броуновского движения, созданной Эйнштейном и Смолуховским, с результатами экспериментов, проведенных, чтобы проверить эти предсказания.

¹⁰⁷ См. предисловие к второму тому «Vorlesungen über Gastheorie», датированное августом 1898 г.

¹⁰⁸ См. Broda. Ludwig Boltzmann... S. 27 и дальше. О Максвелле и спектроскопии на с. 39.

¹⁰⁹ См. мою статью Aim of Science // Ratio. Vol. 1. 1957. P. 24–35, вошедшую потом в книгу «Objective Knowledge» (1970), p. 191–205.

¹¹⁰ Boltzmann, L. Zu Hrн. Zeremelo's Abhandlung «Ueber die mechanische Erklärung irreversibler Vorgänge». S. 397 (Wissenschaftliche Abhandlungen... Bd. 3. S. 584). [...]

25. Версия Шрёдингера теории Больцмана

Эрнст Мах также понимал, что механическая «интерпретация второго закона», предложенная Больцманом, может привести к «нарушению» (*Durchbrechung*) этого закона; но для него она была слишком абсурдна, чтобы всерьез обдумывать эту возможность. Он писал:

(Больцмановская) интерпретация второго закона в терминах механики представляется мне весьма *искусственной*. Принимая во внимание тот факт, что в чисто механической системе *возрастанию энтропии* нет никакого реального коррелята (за исключением увеличения беспорядка), будет трудно противостоять убеждению, если такая механическая система образует *действительную основу* тепловых процессов, то нарушение второго закона возможно даже без помощи демона ¹¹¹.

В противоположность Маху, для которого идеи Больцмана были «весьма искусственными», я нахожу их весьма естественными. Мне кажется естественным, что молекулы газа обнаруживают ту же внутренне присущую им тенденцию перемешиваться, как и толпа в центре города. Более того, мне кажется вполне естественным воспользоваться статистической теорией, если мы хотим объяснить эту тенденцию. Конечно, при этом не предполагается, что интуитивное воззрение (подобное моему) непременно истинно; или даже если оно истинно, мы сможем вывести его с помощью какой-либо особой системы допущений, даже если в свою очередь они истинны ¹¹².

Как мы уже видели, Больцман не смог вывести из статистической механики эту «тенденцию молекул перемешиваться», хотя первоначально у него было такое намерение: неожиданным образом ему понадобилось некоторое дополнительное допущение, а именно «допущение *A*», или парменидовой *ad hoc* спекуляции, заключающейся в том, что время — это иллюзия.

Шрёдингер почувствовал, что эта *ad hoc* спекуляция не только существенная часть физической теории Больцмана, но и часть самой красивой физической теории, так как в этой теории механизм выходит за пределы самого себя и порождает метафизический результат, обосновывая идеальность времени и, таким образом, идеализм.

По этой причине Шрёдингер сопротивлялся любой попытке найти другой показатель направления времени кроме энтропии: она обернулась бы разрушением красивой физической теории; он говорил мне об этом с укором (так как я делал такую попытку ¹¹³). А в одной из своих последних книг он писал:

¹¹¹ *Mach, E. Die Prinzipien der Wärmelehre historisch-kritisch entwickelt. Leipzig, 1896. S. 364.*
Курсив Маха.

¹¹² Интуиция неоценима, не бывает творчества без нее. Но она часто ошибается и никогда не надежна.

¹¹³ В нескольких «Letters» в журнал «Nature»: The Arrow of Time. Vol. 177. 1956. P. 538; Irreversibility and Mechanics. Vol. 178. 1956. P. 382; Irreversible Processes in Physical Theory. Vol. 179. 1957. P. 1297; Vol. 181. 1958. P. 402 и далее. (Эта серия писем была продолжена после публикации в 1958 г. книги Шрёдингера «Mind and Matter»; см. об этом следующую сноску.)

«Статистической теории теплоты должно быть дозволено самостоятельно, посредством ее собственных определений, решать, в каком направлении течет время»¹¹⁴. Затем он добавляет: «Из этого вытекает далеко идущее следствие для методологии физика. Он не должен вводить в теорию ничего такого, что могло бы повлиять на стрелу времени, иначе рухнет красивое построение Больцмана»¹¹⁵.

Таким образом, для Шрёдингера объективное время не имеет никакого направления в отличие от наблюдаемого на опыте времени, которое направлено в сторону увеличения энтропии или вероятности [это показано на рис. 3 и 4 в разделе 17, см. ВИЕТ. 2002. № 4]. Ранее он сделал допущение, что мы сами («самостоятельно») можем определять направление времени на основании переформулировки закона энтропии и больцмановой «суицидальной» *ad hoc* спекуляции¹¹⁶. (Очевидно, он не видел, что это свело бы содержание *H*-теоремы к тривиальному следствию из такого «самостоятельного» определения.) Допущение Шрёдингера заключалось в том, что мы можем переформулировать закон энтропии следующим образом: начнем с того, что временная координата t лишена «направления» в том смысле, что ее численное значение может возрастать при движении как в одну, так и в другую сторону (см. рис. 3 в разделе 17, там же). Мы допускаем, что можем определить энтропию S_1 и S_2 двух подсистем во Вселенной (Рейхенбах назвал их «системами-близнецами»), систем 1 и 2, в два момента времени t_A и t_B , таких, что в промежутке между t_A и t_B эти системы изолированы, в то время как вне этого интервала они взаимодействуют. Шрёдингер обозначил энтропии этих двух систем в данные моменты времени S_{1A} и S_{2A} , S_{1B} и S_{2B} ; а затем он установил новый закон энтропии (E), который выразил посредством формулы

$$(E) \quad (S_{1B} - S_{1A})(S_{2B} - S_{2A}) \geq 0.$$

Эта формула не утверждает увеличения энтропии с течением времени t , а просто указывает на параллельное развитие в обеих системах. (Энтропия увеличивается или уменьшается в обеих системах.)

Тогда мы можем по своему произволу выбрать направление времени посредством определения (как это делал Больцман) t^* в качестве временной координаты так, чтобы энтропия S_1 , а в силу (E) также и S_2 , увеличивались с воз-

¹¹⁴ Schrödinger, E. *Mind and Matter*. Cambridge, 1958. P. 86. (В этой книге собраны его Тарнеровские лекции в Тринити-колледже в октябре 1956 г. В более позднем издании вместе с «What is Life?» [Cambridge, 1967] эта цитата находится на с. 164.)

¹¹⁵ Этот пассаж взят в скобки; и поскольку Шрёдингер специально обратил на него мое внимание, упомянув о нашей предшествующей полемике, я полагаю, что он добавил его в ответ на мои письма в «Nature». Как бы то ни было, я не вижу возможности согласиться с ним. С методологической точки зрения наша задача заключается в том, чтобы критиковать и по возможности опровергать «право» статистической теории «самостоятельно» (превосходная характеристика Шрёдингера) решать, куда течет время. А методология, которая обязывает физика оберегать какую бы то ни было теорию (сколь угодно красивую), превращает эту красивую теорию в религиозную догму.

¹¹⁶ См. Schrödinger, E. *Irreversibility* // *Proceeding of Royal Irish Academy*. Vol. 53. 1950. P. 189–195.

растанием t^* ; это будет по определению направлением от «прошлого» к «будущему».

Единственно важное различие между формулировкой Шрёдингера и *ad hoc* спекуляцией Больцмана состоит в следующем: Шрёдингер в состоянии сформулировать (Е) — его новый закон энтропии, который следует из обычного закона, — независимо от какого-либо направления времени. Так он устраняет возражение, на которое Больцману нечем было бы парировать: а именно, что закон энтропии не эмпиричен, так как он выводится из *определения* направления времени. В теории же Шрёдингера обычный закон энтропии следует из (Е), если принять предложенное определение; а само (Е) можно рассматривать как ее эмпирическое ядро.

Теорию Шрёдингера можно считать улучшением *ad hoc* спекуляции Больцмана; но главную ее трудность он не обсуждает. А трудность состоит в следующем.

Основная идея теории Больцмана — Шрёдингера заключается в том, что должны существовать малые и чрезвычайно большие флуктуации энтропии, уменьшающие ее по сравнению с равновесным значением, и что направление времени от «прошлого» к «будущему» определяется возрастанием энтропии. Но это сразу же вызывает очевидное возражение: для характеристики направления времени могут быть использованы только очень большие флуктуации, ведь если мы позволим даже малым флуктуациям менять стрелу времени, то мы впадем (как легко видеть) в противоречие. Мы совершенно уверены, что атомные часы не меняют свой ход вперед и назад из-за того, что атомы окружены флуктуирующим газом, и флуктуации в биологической среде не нарушают жизненного цикла микроорганизмов. Отсюда вопрос: какова величина пространственного расширения и размер флуктуации — отклонение от равновесия, — чтобы можно было определить направление времени? Мне представляется очевидным, что, во-первых, этот вопрос *не имеет ответа* и, во-вторых, граница оказывается непостоянной вблизи критической величины, выбранный размер флуктуации должен быть достаточно большим, чтобы воздействовать на направление времени. (Шрёдингер считает системы 1 и 2 *очень* большими, изолированными в течение *очень* протяженного отрезка времени, но никакого теоретического смысла в этом допущении я не могу найти.)

Однако совершенно независимо от этого очевидного возражения возникает и главный вопрос: может ли утверждение (Е), отличное от закона энтропии (*H*-теоремы Больцмана), быть выведено из статистической механики Больцмана?

На первый взгляд может показаться, что это вполне возможно. Ведь главный аргумент против выводимости закона энтропии состоит в том (по замечанию Пуанкаре), что заключение о необратимости не может быть выведено из обратимой теории, такой, как статистическая механика. Но это возражение, очевидно, не касается условия (Е), оно ослаблено следствием закона энтропии. Сомнения возникают при немного большем внимании. Ведь в лучшем случае мы можем только надеяться вывести условие (Е) *с высокой степенью вероятности*; и, безусловно, вероятность равновесного случая, где левая часть (Е) практически равна нулю (с любой желаемой степенью

точности), будет подавляюще высока. Но это только для равновесного случая, для которого игра вообще не стоит свеч: больцмановский вывод позволяет получить закон возрастания энтропии в обычном виде, даже если временная координата имеет стрелу направления.

Развитие больцмановской теории для более интересного случая — когда учитываются неравновесные состояния — может идти (следуя предложению Больцмана¹¹⁷) по такому пути: если мы проведем какие-либо две линии параллельно уровню равновесия, но ниже его, тогда для любого сколь угодно малого интервала ε между ними (по прошествии достаточного количества времени) возникнет бесконечное счетное множество флуктуаций, по меньшей мере достигающих этого интервала, при этом *почти все* из них достигнут своего пика (т. е. минимального значения энтропии) внутри этого интервала. Так что относительная вероятность флуктуаций, уходящих за любой заданный предел, среди тех флуктуаций, которые достигают его, будет равна нулю.

Эта формулировка, в общих чертах представленная самим Больцманом, как и условие (E), не предполагает никакого данного заранее направления временной координаты. Однако мне она кажется предпочтительнее (E). Вот условие (E), вообще говоря, не может выполняться даже в вероятностном смысле, в особенности для очень больших систем 1 и 2 и для очень продолжительных промежутков времени между A и B . Пусть имеется направленное время, и система 1 + 2 флуктуирует в широких пределах (это может означать, например, что одна часть системы нагревается, а другая — остывает). Пусть системы 1 и 2 изолируются друг от друга в момент времени A — такой, что энтропия уже отклонилась от своего равновесного значения, но еще не достигла пика (некоторого минимума для совокупной системы 1 + 2); в некий последующий момент времени 1 и 2 вновь объединятся. Весьма вероятно, как следует из сказанного, что одна из подсистем (скажем, система 1) сразу же двинется в сторону равновесия, в особенности если флуктуация велика. В таком случае из нашего допущения, что флуктуация совокупной системы 1 + 2 еще не достигла своего пика, следует, что другая подсистема (система 2) будет продолжать двигаться в направлении пика (т. е. к минимуму энтропии). Таким образом мы получим схему, представленную на рис. 5, в которой используемая временная координата со стрелой (впадины, или «провалы энтропии», — здесь просто отклонение от состояния равновесия).

Теперь допустим, что в момент времени A , когда системы 1 и 2 изолируются друг от друга, они примерно одинаково удалены от состояния равновесия. Если мы вновь объединим их в какой-то момент B или B' , предшествующий моменту C (когда система 2 возвращается к уровню энтропии, которую она имела в A), тогда разность $S_{1B} - S_{1A}$ будет положительной, так как система 1 движется в сторону равновесия, а $S_{2B} - S_{2A}$ — отрицательной, так как система 2 в B еще не достигнет уровня энтропии, которую она имела в A . Поэтому условие (E) *не выполняется*. Я не вижу никаких причин, почему системы, разделенные во время большой флуктуации (если такие флуктуации вообще возможны), не могут вести себя подобным образом; напротив, такое поведе-

¹¹⁷ Во втором ответе Больцмана Цермело (см. сноску 110), в особенности на с. 397 и след.

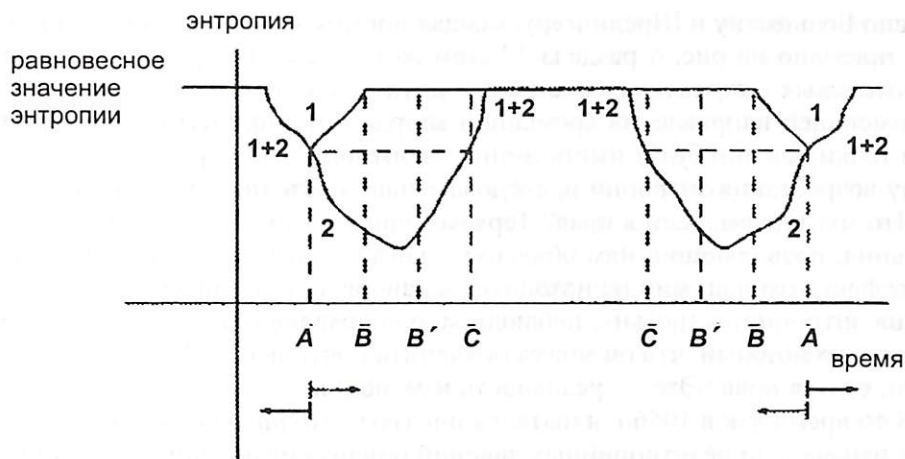


Рис. 5. Здесь показан особый случай, когда $AB = AB' = B'C = CB' = B'A = BA$. Однако в общем случае эти интервалы не равны.

ние неизмеримо вероятнее (при условии, что совокупная энтропия полной системы $1 + 2$ продолжает уменьшаться), чем рост энтропии в *обеих* системах. Конечно, условие (Е) будет выполнено, если подождать с возвращением подсистем в контакт друг с другом до некоего момента после *C*. Но я не вижу никаких оснований для такого ожидания. Поэтому мне представляется безнадежным пытаться вывести условие (Е) из статистической механики; хотя оно должно быть истинным по меньшей мере так же часто, как и закон энтропии в его старой термодинамической формулировке, потому что условие (Е) — его следствие.

Несмотря на мое безграничное восхищение Шрёдингером, я попытался (первый раз в 1956 г.) в серии писем в журнал «Nature» показать на некоторых примерах, что мы можем характеризовать направление времени независимо от возрастания энтропии. А именно я хотел обратить внимание на противоположность асимметрии, определяющей реализуемость начальных условий, и асимметрии теорий или законов¹¹⁸.

Если такая асимметрия начальных условий существует, то ее должно быть достаточно, чтобы характеризовать направление времени; а поэтому (и Шрёдингер признал это) она сделает невозможным навязывание направления времени методом Больцмана или Шрёдингера, так как не будет существовать нейтральной или ненаправленной временной координаты, которой флуктуация энтропии могла бы придать направление. (Мы должны помнить, что, со-

¹¹⁸ Если в некой малой области R происходят колебания, то со временем из области R будут исходить волны — такого рода начальные условия легко реализуются. При обращении времени волны должны приходить от бесконечности в область R и там поглощаться. Осуществить такой процесс довольно трудно, только если не установить где-то сферическое зеркало, обращающее расходящиеся волны первого случая. Или можно представить себе огромное количество удаленных осцилляторов, излучающих когерентно. Оба последних случая очень искусственны и специальные. Поэтому *расходящиеся волны* можно использовать для характеристики стрелы времени. (См. мое письмо *The Arrow of Time...* P. 538.)

гласно Больцману и Шрёдингеру, каждая достаточно большая флуктуация, — как показано на рис. 4 раздела 17 (там же), — будет порождать *два противоположных направления* времени в двух различных отрезках изначально не имеющей направления временной координаты, причем в качестве исходной точки оба они будут иметь минимум энтропии, а направлены будут в сторону возрастания энтропии и, следовательно, состояния равновесия.)

Что мы теряем, если я прав? Теряем мощный метод метафизического объяснения, позволяющий нам объяснять (гигантскими флуктуациями): во-первых, факт, что наш мир не находится в равновесии; во-вторых, закон возрастания энтропии; в-третьих, наблюдаемое направление времени — т. е. метод настолько мощный, что он может объяснить почти все ¹¹⁹. Что же мы выигрываем, если я прав? Это — реальность изменений.

В то время как в 1956 г. я пытался показать, что *начальные условия* некоторых изначально неэнтропийных явлений обнаруживают внутренне присущее им направление времени, которое может быть охарактеризовано в чисто физических терминах, Л. Л. Уайт в 1955 г. (т. е. на год раньше) выдвинул смелое предположение, что мы должны отыскивать *теории* или *законы*, которые необратимы во времени ¹²⁰. Кажется, нет никаких оснований не верить, что такие законы действительно существуют; иначе очень трудно объяснить внутренне присущее направление в асимметрии осуществимых начальных условий. С 1956 г. и по сей день накапливается все больше данных, внушающих уверенность, что вскоре мы сможем найти эти законы, — если уже не нашли их в законах «распада при слабом взаимодействии».

Все это оказало бы большое влияние на идею Больцмана — Шрёдингера об иллюзии изменения и времени; но привело бы, возможно, лишь к незначительной модификации статистической механики, не затрагивая ее базисных идей.

26. Превращение современной физики в теорию Больцмана

Шрёдингер был убежденным парменидианцем (он интерпретировал «единое бытие» Парменида как мысль или как сознание ¹²¹). Но несмотря на приверженность идеям Больцмана, которые он разделял с Эйнштейном, Шрёдингер, подобно Эйнштейну в его молодые годы и многим другим физикам того поколения, находился под глубоким впечатлением позитивистской или сенсуалистической эпистемологии Маха и не был знаком (как и я сам до недавней поры) с антипозитивистской теорией науки Больцмана. В действительности Шрёдингер понимал то, что Мах как антиметафизик не смог осознать, что последовательное развитие его эпистемологии неизбежно ведет к метафизическому идеализму, в который верил Шрёдингер.

¹¹⁹ См. мою книгу «Logic of Scientific Discovery», раздел 67, озаглавленный «Вероятностная система спекулятивной метафизики».

¹²⁰ Whyte, L. L. One-Way Processes in Physics and Biophysics // British Journal for the Philosophy of Science. Vol. 6. 1955. P. 107–121.

¹²¹ См. Schrödinger, E. Nature and the Greeks. Cambridge, 1954. P. 25 и след., а также My View of the World. Cambridge, 1964. P. 92 и след.

Сам Мах подходил к своей эпистемологии совсем с другой стороны — со стороны неудовлетворенности атомизмом и всеми другими *теориями строения материи*. Он находил эти теории неважными в силу их крайне спекулятивного характера и отсутствия экспериментального подтверждения. (Не надо забывать, что даже в 1902 г. Пуанкаре считал невозможным экспериментально различить атомистическую и континуалистскую теории материи. По его убеждению, никакой эксперимент не только не доказывал существования атомов, но даже не давал доводов в его пользу.) Неудовлетворенность Маха привела к тому, что он начал обдумывать эпистемологический базис теорий материи и пришел к своему знаменитому «Анализу ощущений»¹²². В результате он принял философию науки, трудно отличимую от философии Беркли: он отбросил материю как метафизическую идею, подобную идее «субстанции»¹²³. (Конечно, все теории материи по своему происхождению являются метафизическими, точнее говоря, — парменидовыми.) Но Мах был берклианцем не по своей склонности. Он принял несуществование материи как физическую теорию: она объясняла противоречия, присущие большинству теорий материи (особенно предполагавших радикальный эмпиризм)¹²⁴. Таким образом, он усмотрел в сложностях, на которые натолкнулся Больцман, убедительное подтверждение собственных физических теорий и отнесся к термодинамике как к наиболее адекватной, т. е. наиболее феноменологической из всех физических теорий.

Мах, подобно Беркли, воспринял «второй путь» Парменида, полностью отбрасывая «первый путь». Не существует никакой вещи в себе, никакого объекта познания — только мир явлений, только мир, «каким он представляется людям» (DK 28B8:60). Он таким «представляется людям» просто потому, что никакого другого мира не существует.

Но незадолго до смерти Мах, кажется, поверил в реальность атомов. Примерно восемь лет спустя после кончины Больцмана Стефан Мейер в Венском институте исследований радия показал Маху сцинтилляцию альфа-частиц. Мах сказал: «Теперь я верю в реальность атомов». Как утверждает Мейер, «все его мировоззрение изменилось за несколько минут»¹²⁵.

¹²² См. Mach, E. Contributions to the Analysis of Sensations. Chicago, 1897. Первое немецкое издание этой книги: Beiträge zur Analyse der Empfindungen. Jena, 1886. [Первое русское издание — 1908.] Мах надеялся разрешить свою психофизическую проблему, и действительно это его сочинение послужило основанием для «нейтрального монизма», как назвал его Рассел. (См. также S. I. B., в особенности раздел 53, с. 196–199.)

¹²³ См. мою статью A Note on Berkeley as a Precursor of Mach and Einstein // British Journal of Philosophy of Science. Vol. 4. 1953. P. 26–36 (перепечатана в «Confirmation and Refutation», глава 6, с. 166–174).

¹²⁴ Это, видимо, подтверждается следующим пассажем из его «Prinzipien der Wärmelehre» (Leipzig, 1896. S. 363): «Вполне возможно, например, испытывать сильное недоверие к понятию материи, не считая необходимым при этом исключать важное понятие массы: мы можем продолжать работать с последним тем же самым образом, каким я это делаю в “Die Mechanik”, лишь постольку, поскольку стало очевидно, что от него не требуется большего, чем соблюдения важного равенства (а именно закона сохранения массы. — К. П.)».

¹²⁵ Meyer, S. Festschrift zum 40jährigen Bestand des Wiener Instituts für Radiumforschung. 1950. Цитата приведена из: Broda. Ludwig Boltzmann... S. 84.

Члены Венского кружка логического позитивизма и Ассоциации Маха (Verein Ernst Mach) обычно говорили, что метафизические системы — это просто тени почивших научных теорий. Интересно, что это описание совершенно подходит к их собственной махистской философии. Махистский позитивизм — это физическая теория-однодневка, от которой, по некоторым свидетельствам, отказался даже ее основатель, герой позитивизма (см., например, обсуждение этого инцидента в замечательной биографии Маха, написанной Дж. Г. Блэкмором ¹²⁶).

В результате все основные враги Больцмана отказались от своих взглядов или по крайней мере были поколеблены в своем неприятии его теории. Цермело в 1905 г. перевел шедевр Уилларда Гиббса и написал предисловие, полное восхищения — хотя и выразил в нем сомнения в адрес вывода закона энтропии ¹²⁷. Пуанкаре в 1905 г. писал относительно статистической механики: «Максвелл и Больцман все в ней объяснили; но кто понимал ее наиболее ясно... так это Гиббс» ¹²⁸. В том же году, когда Эйнштейн опубликовал свою первую работу о броуновском движении (за год до кончины Больцмана), Пуанкаре увидел, что броуновское движение «противоречит принципу Карно» (т. е. закону возрастания энтропии), и при этом добавил: «Мы видим, как у нас на глазах то движение превращается в теплоту... то, наоборот, теплота превращается в движение (тем самым нарушая второй закон. — К. П.) и без какой-либо потери, так как движение длится вечно». (Иначе говоря, он признал существование вечного двигателя второго рода.) «Мы больше не нуждаемся, — продолжал Пуанкаре, — в беспредельно острых глазах демона Максвелла: достаточно нашего микроскопа» ¹²⁹.

Теперь я могу дать общую характеристику развитию ситуации в период, скажем, с 1897 г. по 1904 г. Больцман, Пуанкаре, Цермело, Мах и Оствальд осознавали несостоятельность убеждения раннего Больцмана, что закон (необратимого) возрастания энтропии может быть выведен из обратимых урав-

¹²⁶ Blackmore, John T. Ernst Mach: His Life, Work and Influence. Berkley, 1972. P. 32 и след. (На мой взгляд, из сообщений Майера, Пшибрама и Хмелки следует, что Мах был потрясен, но все же он был слишком стар, чтобы окончательно изменить свою позицию в таком важном для него вопросе.)

¹²⁷ См. Gibbs, Josiah Willard. Elementary Particles in Statistical Mechanics. N. Y., 1902. Немецкий перевод Цермело появился в 1905 г. в лейпцигском издательстве. Эйнштейн, не зная об этой работе Гиббса, практически одновременно развил похожие принципы статистической механики (в серии публикаций в «Annalen der Physik» за 1902–1911 гг.), которые тут же использовал для решения задачи черного тела и броуновского движения (см. сноску 129, а также: статью Макса Борна в сборнике Albert Einstein: Philosoph-Scientist / Ed. by P. A. Schilpp. Evanston, Illinois, 1949. P. 163 и след.; статью Мартина Клейна в журнале Science. Vol. 157. 1967. P. 509 и след.; его же статью в сборнике Albert Einstein: Historical and Cultural Perspectives / Ed. by G. Holton and Y. Elkana. Princeton, N. J., 1982. P. 39 и след.). (Я обязан Троелзу Эггерзу Хансену за точные указания к этой и двум последующим сноскам.)

¹²⁸ Poincaré, H. La valeur de la science. Paris, 1907. P. 182 и след. [...]

¹²⁹ Poincaré. La valeur de la science... P. 184 [...]. Наверное, стоит заметить, что математическая (количественно проверяемая) теория броуновского движения была впервые дана Эйнштейном в 1905 г. ([...] см. сноску [93 и] 127). См. также: Smoluchowski, M. von. Annalen der Physik. Bd. 4. Heft 25 и 33. 1910. S. 129 и след., где формулируется «количественная (математически проверяемая)» теория опалесценции.

нений статистической механики. Сначала эти физики, за исключением самого Больцмана, интерпретировали ее как опровержение статистической механики и программы Больцмана, а также атомистической теории материи (или «материализма», как они все называли эту теорию), которую Больцман продолжал поддерживать. Примерно к 1902 г. Пуанкаре поверил в статистическую механику Больцмана и Гиббса ¹³⁰ и, возможно, в атомизм: по-видимому, он был первым, кого убедило броуновское движение, — из-за того самого рода флуктуаций, нарушающих закон энтропии, возможность которых Больцман признал под давлением болезненных для него аргументов Цермело и наблюдаемость которых он считал весьма сомнительной. Мах воспринял эту уступку Больцмана как шаг к поражению ¹³¹ и, насколько мне известно, всегда оставался оппонентом кинетической теории (даже будучи поколеблен в своем неприятии атомизма ¹³²). Успех эйнштейновской теории броуновского движения заставил Оствальда отказаться от своих взглядов. Цермело, кажется, признал кинетическую теорию до 1904 г. (самое позднее к концу 1905 г.), сохранив недоверие к выводимости закона энтропии ¹³³. В этом он был, конечно, прав, так как закон энтропии невыводим, — с этим пришлось согласиться всем участникам дискуссии. В действительности, вообще говоря, он и не верен: возможны флуктуации, приводящие к броуновскому движению ¹³⁴.

Как показывает попытка Шрёдингера найти замену закона энтропии, выводимую из теории Больцмана (или Гиббса ¹³⁵) хотя бы в вероятностном смысле, по меньшей мере до 1950 г. у него не было удовлетворительной формулировки, и (как следует из предыдущего раздела) я не думаю, что такую формулировку ему удалось найти. Более того, совершенно ясно, что статистическая механика ни у Больцмана, ни у Гиббса не может как таковая дать объяснения термодинамическим наблюдениям: по меньшей мере приходится прибегать к дополнительным допущениям, вроде «предположения А» у Больцмана, — иначе говоря, к космологическим допущениям, выходящим за рамки статистической механики. Для того чтобы избавиться от этого внешнего космологического допущения, Больцман очень робко выдвинул свою смелую парменидову *ad hoc* гипотезу, к которой, как я знаю, только Шрёдингер отнесся серьезно. (Только после этого некоторые ученые перешли на точку зрения Шрёдингера.)

¹³⁰ Poincaré. La valeur de la science... P. 182 и след. [...]. См. также Poincaré, H. *Thermodynamique*. Paris, 1908. P. 450.

¹³¹ Mach. *Die Prinzipien der Wärmelehre*... S. 363.

¹³² См. сноску 126.

¹³³ Gibbs. *Elementary Principles*... Глава 12.

¹³⁴ Тут уместно упомянуть о достойном внимания преуменьшении этого факта в монографии Эренфеста 1912 г.: «В этой связи следует заметить, что броуновское движение находится в значительно лучшем соответствии с кинетической теорией, чем с догматически понимаемым вторым началом термодинамики» (Ehrenfest, P.; Ehrenfest, T. *The Conceptual Foundations of the Statistical Approach in Mechanics* / Transl. by M. J. Morasvick. Ithaca, 1959. P. 94; см. также сноску 80).

¹³⁵ В своей «*Statistical Mechanics*» (Cambridge, 1946) Шрёдингер объяснил, почему предпочитал подход Гиббса, а не Больцмана.

Так что в нашем распоряжении нет ни ясной формулировки закона энтропии, ни, разумеется, его обоснованного вывода из статистической механики. Тем не менее сила этой теории неоспорима; а обоснованность закона энтропии устанавливается тем, что из всех флуктуаций от равновесного состояния идеального газа, достигшего какого-то заданного уровня, преобладают те, у которых следующее (после достижения заданного уровня) состояние будет ближе к состоянию равновесия, и это может быть подтверждено на основании теории Больцмана¹³⁶. Можно сказать и так: если газ окажется в состоянии с низкой энтропией, то вероятность того, что за ним последует состояние с более высокой энтропией, очень близко к достоверности, а следовательно, намного больше вероятности, что за ним последует состояние с еще более низкой энтропией. (Все это справедливо только для замкнутых систем; электрический чайник вместе с окружающей его кухней становятся приблизительно замкнутой системой, после того как чайник выключен.)

Несмотря на неоспоримую победу идей, за которые Больцман боролся и ради которых умер, даже теперь никто не может сказать, что ситуация вполне удовлетворительна.

27. Еще одна парменидова апология в современной физике: субъективистская интерпретация вероятностей

Есть еще один взгляд на материю, еще одна парменидова теория, получившая широкое распространение. Одна из наиболее убедительных на сегодняшний день версий была представлена Максом Борном в 1949 г.¹³⁷ Статья Шрёдингера о необратимости фактически была спровоцирована книгой Борна «The Natural Philosophy...». По этой причине, а также в силу репрезентативности развитого в ней взгляда, я обсужу некоторые из аргументов Борна.

Я уже имел случай сослаться на важный критический анализ теории Больцмана (содержащий также некоторые интересные исторические замечания), предпринятый бывшим учеником Больцмана Паулем Эренфестом и Татьяной Эренфест (он был опубликован в 1912 г.). Они описали не только успехи теории Больцмана, но в равной мере и почти с равной убедительностью и ее поражения. Однако эти поражения, кажется, были затушеваны некоторыми из читателей, а Макс Борн, в то время один из величайших физиков (он

¹³⁶ Эта симметрия флуктуаций по отношению ко времени, разумеется, совершенно отлична от иного свойства, эквивалентность которого ей иногда ошибочно приписывается: «Вероятность, что за состоянием с низкой энтропией последует состояние с более высокой, равна вероятности, что за состоянием с высокой энтропией последует состояние с более низкой» (Encyclopedia of Philosophy / Ed. by Paul Edwards. N. Y., 1967. P. 336. Статья о Больцмане). Однако не надо быть специалистом, чтобы знать, что тепло от нагретого чайника быстро рассеивается и что крайне маловероятна передача ему тепла от холодного окружающего воздуха. Больцман вполне преуспел в объяснении этого банального факта, показав, что рассеяние тепла очень вероятно, а обратный процесс крайне невероятен; его единственная сложность заключалась в том, чтобы показать, как этот факт может быть *выведен из законов механики* (которые обратимы по отношению к замене направления времени).

¹³⁷ Born, M. The Natural Philosophy of Cause and Chance. Oxford, 1949 (2-е издание Oxford, 1969). P. 58 и след. (см. сноску 81).

скончался в 1970 г.), удивительным образом сослался на их работу, я думаю, по памяти ¹³⁸ как на работу, «несомненно проясняющую вопрос» ¹³⁹.

Это очень интересное замечание, потому что предложенная Борном интерпретация идей Больцмана (которую, как он полагал, разделяют Эренфесты) содержит одну из наиболее важных и влиятельных апологий Парменида в современной физике: *интерпретацию теории вероятностей как теорию нашего незнания*.

То, что эта интерпретация не играла никакой роли ни в монографии Эренфестов, ни в работе Больцмана, показывает, я полагаю, в какой мере она считалась само собой разумеющейся и поэтому прочитывалась некоторыми физиками в работах других авторов (если только они не противостояли явно этой теории).

Интуитивно кажется весьма правдоподобным, что всякий раз, когда мы обладаем *знанием*, т. е. знаем точно, мы не нуждаемся в теории вероятностей; так что необходимость применения теории вероятностей к решению проблем показывает неопределенность нашего знания в исследуемой области и тем самым демонстрирует факт нашего незнания и его значимость по отношению к проблеме, которую мы пытаемся решить. Этот аргумент правдоподобен и убедителен, и даже Эйнштейн использовал его ¹⁴⁰. Хотя в этом, я думаю, он ошибался.

Теория вероятностей входит в физику не в силу нашего незнания (фаллибилист, подобный мне, будет считать наше незнание само собой разумеющимся), а в силу природы нашего вопроса — *проблемы, которую мы пытаемся решить*.

Представим себе вступительные экзамены в университет. Со всей мыслимой точностью мы знаем, сколько абитуриентов сдали экзамен по каждому предмету успешно, а сколько провалились; вдобавок нам точно известны их имена. Однако кроме этого точного знания нам может понадобиться и некая общая картина, например, для того, чтобы сравнить результаты экзаменов в различные годы. Для этой цели нам необходима статистика: выведение среднего числа, процентных соотношений. А для такого подсчета или по меньшей мере для обработки результатов подсчета нам потребуется статистическая теория.

Конечно, можно сказать, что все это и даже *более того* содержится в исходном точном знании и что если мы сталкиваемся с выбором между точным и статистическим знанием, то мы всегда должны предпочитать первое, так как оно влечет за собой второе. Допустим на время, что это и так. Тем не менее даже в этом случае имеются некоторые проблемы, для решения которых точное знание бесполезно, пока оно статистически не обработано.

Но есть и более любопытные проблемы, для которых детальное знание индивидуальных событий не содержит интересной для нас статистической информации. Эти проблемы непрерывно возникают в связи со *статистическими законами*, или *макрозаконами*, а также их объяснением и проверкой.

¹³⁸ Там же, в предисловии: «Мне приходится... импровизировать».

¹³⁹ Там же, с. 59.

¹⁴⁰ Эйнштейн дважды касался этого вопроса в письмах ко мне. См. мою книгу «Logic of Scientific Discovery», с. 459. Во время нашей встречи в 1950 г. я привел свои возражения, и он с ними согласился.

Чтобы пояснить сказанное, допустим, что мы обладаем достаточно совершенными измеряющими устройствами и компьютерами, позволяющими «точно» установить (что бы это ни означало) координаты и импульсы всех молекул газа в некотором сосуде и рассчитать их координаты и импульсы для любого момента времени в будущем. (Нам также понадобится многое узнать о стенках сосуда, но ради простоты мы этим пренебрежем.) Предположим еще, что мы определили понятия «температуры» и «давления» газа и можем их вычислить посредством усреднения всей нашей точной информации; пусть они остаются постоянными при выбранных начальных условиях.

Теперь попытаемся ответить на вопрос: как изменится температура и давление, когда мы позволим десяти молекулам вырваться из сосуда (скажем, открывая клапан). Это оказывается статистической проблемой. Невозможно найти ответ на этот вопрос при помощи «точных» методов просто потому, что мы не имеем строго специфических условий, при которых будут вырываться десять молекул. Даже если мы будем знать по именам все молекулы и детально знать, какую из них выпустить из сосуда, наша проблема чисто динамическими методами не решится. (В самом деле, множество возможных решений обладает мощностью континуума.) Только при ситуации, когда нам в точности известны условия, при которых удаляются эти десять молекул, мы можем начать наши подсчеты и, *вероятно*, найдем то, что каждый знает и так: температура и давление станут немного ниже, но незначительно, и наши измерительные приборы вряд ли зафиксируют разницу. (Я говорю «вероятно», потому что таков результат не во всех случаях, а только *почти во всех случаях*, — что представляет типично вероятностное понятие; может, однако, случиться и так, когда при выбранных условиях температура и давление начнут сильно колебаться.)

Но это будет специальным единичным случаем, а не законом. И он нас не интересует, так как мы хотели знать, что *вообще* произойдет, если удалим десять молекул. В попытке вывести общее предсказание относительно изменений температуры и давления сколь угодно точное знание положений и импульсов молекул в одном или во многих сосудах не поможет. Напротив, нам потребуются методы *статистической* механики с характерными для нее оценками вероятностей (мерами *множеств*) реализации условий определенного рода.

Таким образом, не отсутствие детальной информации или знаний, а *род решаемой задачи* вынуждает нас обращаться к теории вероятностей.

Чтобы дать другой подобный пример, представим себе, что нам известно состояние атомов радия и мы можем предсказать распад одного из них в течение трех секунд; но это вовсе не обязательно поможет нам определить статистический уровень распада радия. А знание, достаточное для того, чтобы предсказать, будет ли жив человек в последующие три часа после удаления аппендикса в английской больнице, — недостаточно, чтобы знать данные о смертности пациентов в первые три часа после удаления аппендикса.

Общий вывод из этих рассуждений состоит в следующем. Вероятностные или статистические проблемы требуют вероятностных или статистических знания и методов.

Я с горечью осознаю, что, выдвигая этот тезис, оказываюсь в противоречии со многими великими физиками. (Я думаю, что они иногда не замечают гипотез равномерного распределения, с которыми нам приходится работать.) Например, Макс Бор объясняет противоречие между H -теоремой Больцмана и теоремой Лиувилля, утверждая, что интеграл столкновений Больцмана «огрубленно» представляет ситуацию, и уточняет, что под «огрублением» имеется в виду «некоторое обоснованное усреднение». А затем он продолжает: «*Это усреднение есть выражение нашего незнания действительной микроскопической ситуации*». Теорема Больцмана говорит, что... *смешение механического знания с незнанием деталей ведет к необратимости*»¹⁴¹.

Но вовсе не незрелость нашего знания и не наше невежество приводят к усреднению и статистике, — этого требует характер нашей проблемы. Именно она определяет, какой инструмент нам надо использовать. Мы вправе взять колун, имея дело с пнями, другими словами, обратиться к статистической теории, имея дело с грубыми средними, как называл их Борн. (Как я уже говорил, мне не удалось найти ни у Больцмана, ни в монографии Эренфестов ничего похожего на это воззрение, приписанное им Борном; но оно действительно очень распространено.)

Субъективистская интерпретация вероятности, которая рассматривает применимость вероятности как следствие нашего незнания, — одна из важнейших апологий Парменида нашего времени. Она возникает из детерминизма Парменида: детерминист едва ли сможет объяснить случайность каким-либо другим, кроме субъективизма, способом, — только как иллюзию, возникающую в силу нашего незнания.

28. Некоторые критические замечания относительно субъективистской интерпретации теории информации

Субъективистская интерпретация теории вероятностей ведет к субъективистски интерпретированной математической теории информации, основанной Клодом Шенноном. Эта теория может быть интерпретирована как теория каналов, передающих *последовательность сигналов* (информации): *множество* таких последовательностей; *источники информации* (и ее «памяти»); способы ввода и вывода канала; помехи и *шумы*; кодирование и степень сжатия; вероятность декодировать (закодированное) сообщение, переданное при определенных условиях, и другие подобные объективные идеи.

Я привожу их здесь только для того, чтобы показать: *теория информации может быть интерпретирована объективистски*. Но — и это немаловажно — она является приложением теории вероятностей; а если теория вероятностей интерпретирована субъективистски, то таким же образом будет интерпретирована и теория информации.

Идея «неопределенности» эксперимента, для результатов которого имеется лишь дискретная функция распределения вероятности, — одна из важнейших идей математической теории информации. Слово «неопределенность»

¹⁴¹ Born. The Natural Philosophy... P. 59.

здесь подразумевает отличие этого распределения от «точного», приписывающего одному возможному результату эксперимента вероятность 1, а всем прочим — вероятность 0. Очевидно, что распределением, наиболее отличающимся от «точного», будет однородное распределение, каждому из n возможных результатов (мы рассматриваем *финитные* распределения, для которых n конечно) приписывающее вероятность $1/n$. Отсюда следует, что в той мере, в какой мы интерпретируем «вероятность» объективистски, «неопределенность» результата эксперимента, или распределение вероятности, также должна интерпретироваться объективистски. Весьма примечательно, что полезная математическая мера указанной «неопределенности», введенная Шенноном, имеет ту же самую математическую формулу, как и выражение энтропии у Больцмана. Это неожиданно, но интуитивно понятно; ведь и та и другая могут интерпретироваться как вероятностная мера беспорядка. Случайная последовательность нулей и единиц, в которой каждый из них появляется с вероятностью 0,5, будет менее упорядочена, чем случайная последовательность, где нули появляются с вероятностью 0,9, а единицы с вероятностью 0,1; так как последняя будет состоять преимущественно из нулей, и лишь изредка будут попадаться единицы¹⁴². Сказанное иллюстрируют две последовательности:

```
0110001110101001000001011111001
0000000100000000000000100000100
```

В первой из них явственно чувствуется больший беспорядок, чем во второй. Таким образом, мы имеем две различные идеи беспорядка: случайность (или вероятностная независимость)¹⁴³ и неопределенность. Обе идеи допускают степени (подразделения); и для обеих мы можем определить математическую меру. Энтропия измеряет беспорядок второго рода, но не первого. Эти замечания должны ясно показывать, что возможна объективистская интерпретация не только теории Шеннона вообще, но в особенности идеи неопределенности, как она вводится в этой теории. Поэтому я (косвенно) противостою здесь не самой теории информации, а ее субъективистской интерпретации.

Эта субъективистская интерпретация связана с субъективистской интерпретацией статистической механики, которая предполагает, что статистическая механика движима нашим незнанием, и, кроме того, утверждает, что ее результаты — такие, как теорема энтропии Больцмана (*H*-теорема), — *требуют для их получения допущения о незнании* (как говорит Макс Борн, «смешения знания механики с незнанием»).

Упомянутая связь между термодинамической энтропией и субъективистской идеей неопределенности весьма проста. Эта связь предполагает: а) как энтропия, так и неопределенность — это меры нашего незнания или недостатка информации; б) неэнтропия¹⁴⁴ поэтому мера знания или информа-

¹⁴² См. «Logic of Scientific Discovery», с. 163.

¹⁴³ А именно условие, позволяющее нам воспользоваться законом умножения вероятностей: $p(xy) = p(x)p(y)$.

¹⁴⁴ [Введенная Бриллюэном функция, равная энтропии, взятой с обратным знаком.]

ции, которой мы владеем; в) демон Максвелла может обратить закон возрастания энтропии, если осуществляя это, только он использует и расходует свои знания (негэнтропию) так, что он будет вкладывать в систему (по меньшей мере) столько негэнтропии, сколько получит в результате своей деятельности. Более того, утверждается, что для получения своего знания демон должен совершать работу, увеличивая таким образом энтропию в какой-то части окружающей его системы. Так что он получает свое знание за счет возрастания энтропии. Ее рост должен быть по крайней мере равным росту его знания (негэнтропии). В результате мы можем наконец утверждать, что имеет место следующая последовательность, где стрелка означает «производство»: увеличение энтропии $\rightarrow$ рост негэнтропии (или информации) $\leftarrow$ уменьшение энтропии.

Эта теория представляется мне совершенно ошибочной. Она восходит к статье Лео Сциларда 1929 г. (ее идеи в дальнейшем были развиты фон Нейманом, Габором и Бриллюэном), на которую я уже ссылаясь; эту статью я критиковал в 1957 г.¹⁴⁵ и (надеюсь, более убедительно) в разделе 22 настоящей главы, где я пытался показать, что демон Максвелла существует как разновидность демона Сциларда, но этот демон не нуждается в том, чтобы предпринимать какую-либо работу или расходовать какую-либо информацию.

Во всяком случае субъективистская интерпретация теории информации, видящая в демоне Максвелла обладателя негэнтропии, — в некоторых радикальных формах объявляющая даже возрастание энтропии следствием человеческого незнания, — представляется мне абсолютной *ad hoc* гипотезой. Более того, эта интерпретация лежит в русле намерения Парменида позволить нашему неведению играть конструктивную роль в физике явлений. В противоположность ей я уверен, что Солнце будет продолжать производить энтропию, а духота продолжать выветриваться из перегретой аудитории, даже если нет никакого познающего разума, способного произвести необходимое количество незнания¹⁴⁶.

Сама энтропия не является инвариантом, и поэтому оказывается вне парменидовой картины, как правильно заметил Мейерсон. Но я уверен, что можно смело утверждать: это проблема физики, а не биологии и не психологии.

29. Индетерминизм в квантовой физике как крах учения Парменида

Мой следующий пример, как концепция Парменида терпит крах, — это квантово-механический индетерминизм. Как обычно, крах возникает вместе с апологией Парменида.

Сам я индетерминист. И я действительно признаю, что квантовая механика — это статистическая и индетерминистическая теория. Она является статистической теорией потому, что развилась под сильным влиянием принципиально статистической задачи: рассчитать интенсивности спектральных ли-

¹⁴⁵ См. мою статью 1957 г. в «Nature», упоминавшуюся в сноске 113, и более подробный анализ в статье, указанной в сноске 96.

¹⁴⁶ British Journal for the Philosophy of Science. Vol. 8. 1957. P. 155.

ний, интерпретированных в терминах фотонов и вероятностей переходов между уровнями.

Но Гейзенберг объясняет вероятностный характер квантовой теории как следствие нашего незнания. Он первым дал причинное объяснение крушению принципа причинности: оно случилось из-за того, что мы, смертные, просто наблюдатели, вмешиваемся (а это значит: воздействуем причинным образом) в состояние физических объектов, измеряя их; тем самым возмущаем их состояние настолько, что уже не можем знать, каким оно было в реальности. Так что если бы не вмешательство физиков, мир был бы истинно парменидовым; это все мы, наше незнание, «ошибочное мнение смертных» ответственны не только за «редукцию волнового пакета», но и за уход с парменидова «пути истины» и, стало быть, крушение принципа причинности. Как об этом сказал Дирак: «Принцип причинности применим только к тем системам, состояние которых не было нарушено. Если система мала, мы не можем наблюдать ее, не возмущая ее... Причинность все же будет считаться применимой к невозмущенным системам»¹⁴⁷.

Я не буду больше говорить об аргументе Гейзенберга, так как я в достаточной мере уже проанализировал в приложении, посвященном мыслимым экспериментам, к книге «Логика научного открытия»¹⁴⁸.

30. Другие антипарменидовские течения в современной физике

Хочу сказать несколько слов о двух событиях последних лет, связанных друг с другом, наиболее важных с точки зрения развития антипарменидовских идей: об отказе от электромагнитной теории материи и открытии большого числа новых нестабильных «элементарных частиц».

Электромагнитная теория материи доминировала в физике по крайней мере с 1907 г. по 1932 г. Эйнштейн верил в нее до самой своей кончины; то же самое можно сказать и об Эддингтоне и его теории протонов и электронов. Дирак так же долго верил в нее. Убеждение в истинности электромагнитной теории было неотъемлемой частью копенгагенской интерпретации¹⁴⁹.

Странно, что прошло довольно много времени после того, как эта некогда господствовавшая теория была отвергнута, а никто не высказывался по ее поводу. Сначала последовали парменидовы апологии по поводу нейтрино (впечатляющее, но воображаемое изобретение), позитрона (дырки) и нейтрона (протон с электроном); но когда число элементарных частиц разрослось, господствующая теория физики скончалась без почестей. Если бы возникла необходимость объяснять, почему упадок этой теории так мало обсуждался, то я выдвинул бы допущение, что под рукой не было никакой апологии Парменида по ее поводу.

¹⁴⁷ Dirac, P. A. M. The Principles of Quantum Mechanics. 4th edn. Oxford, 1958. P. 4. (Курсив мой.)

¹⁴⁸ Logic of Scientific Discovery. Appendix *ix. Section 3. См. также мою статью Quantum Mechanics without the Observer // Quantum Theory and Reality / Ed. by M. Bunge. Berlin-Heidelberg-New York, 1982. P. 15–30.

¹⁴⁹ См. статью, упомянутую в предыдущей сноске, особенно с. 8 и след.

Я не знаю парменидовых апологий и по поводу принятия новых нестабильных частиц. Эти новые частицы и особенно тот факт, что они могут распадаться на совершенно другие частицы, представляют собой наиболее важное открытие со времен Демокрита. Ибо эти частицы разрушают фундаментальную физическую программу — атомистическую теорию изменения. Теперь мы имеем качественное изменение, и хотя оно может быть частично описано количественно, тем не менее не видно каких-либо возможностей для его объяснения при помощи движения частиц в пустоте. (Между прочим, пустота исчезла много раньше, будучи замененной полем, — но это может быть интерпретировано, скорее, как дополнение к атомистической программе, а не как ее опровержение).

К тому же это наиболее важное событие, подрывавшее парменидовскую программу, было связано с открытием новых типов взаимодействий, — впервые с времен открытия электромагнетизма, — среди которых особое значение имели *«силы слабого взаимодействия»*, ответственные за распад определенных частиц, должны были обосновать *направление времени законами природы*, а не только начальными условиями. Эти открытия могут поддержать надежду на новую исследовательскую программу и предсказание ее возможностей, сделанные Л. Л. Уайтом¹⁵⁰.

31. Непарменидово объяснение расширяющейся Вселенной

Заключительный пример отклонения от парменидова «Пути истины» я возьму из космологии: столкновение двух главных претендентов на объяснение наблюдаемого расширения Вселенной: я имею в виду теорию стационарного состояния и теорию большого взрыва.

Очевидно, что факт, подлежащий объяснению, — расширяющаяся Вселенная — является в высшей степени антипарменидовым; и как следствие, ни одна из этих двух космологий не может быть парменидовой.

Однако по крайней мере в прошлом основой критики, обращенной сторонниками одной из этих теорий против сторонников другой, служили обвинения в иррациональности: в отклонении от концепции Парменида.

Конечно, никто не употреблял таких терминов. Но при этом теорию стационарной Вселенной обвиняли в иррационализме и отклонении от истинно научного метода, потому что она отказалась от одного из основных законов тождественности себе: закона сохранения массы — энергии — импульса. Это обвинение, очевидно, предполагает справедливость взглядов Парменида.

С другой стороны, защитники теории стационарной Вселенной ощущают себя истинными поборниками этих взглядов, по крайней мере в большей степени, чем сторонники теории большого взрыва, — и имеют для этого все основания. Что может иметь меньше общего с Парменидом, чем первоначальный большой взрыв? Разумеется, более рационально и в лучшем соответствии с Парменидом было бы предположить, что общая структура Вселенной неизменна, — даже если за это приходится платить непрерывным возникно-

¹⁵⁰ Whyte. One-Way Processes... P. 107–120.

ванием материи. Разве это возникновение материи не является стационарным? И, вслед за Парменидом, не можем ли мы сказать, что в целом в мире ничто по сути не меняется?

32. Краткое изложение отклонений от программы Парменида

Позвольте мне подвести итоги. Мы видели по меньшей мере шесть отклонений (конечно, все они еретические или гипотетические) от программы Парменида: несовершенство (Ньютон); необратимость; квантово-теоретический индетерминизм и вторжение вероятности; крушение электромагнитной теории материи; крушение атомистической теории изменения в силу превращения элементарных частиц; новые космологии. Большая часть из них сопровождалась апологиями Парменида, которых особенно много в современной физике; но эти апологии излишни, поскольку очевидно, что науке нет необходимости погибать или прекращать развитие, даже если она отклоняется от парменидовой версии рационализма. Общепризнанно, что эти отклонения повлекли неодолимое желание и подлинную потребность в некоторых новых глобальных конструктивных идеях. И это все во благо: такая потребность наверняка будет стимулировать предложения. (Как уже упоминалось, Давид Бом сделал наиболее интересный вклад в новую теорию изменения.)

Но задача философа науки, я думаю, состоит в том, чтобы противостоять сползанию в субъективизм и иррационализм, которые обязаны своим происхождением очевидному нежеланию отказаться от неосознанно принятой веры. Теория, объясняющая необратимость лжезнанием или объявляющая ее, равно как и всякое изменение, иллюзией; теория, объясняющая индетерминизм незнанием, которое возникает из-за возмущения объекта наблюдения наблюдателем или измерительным прибором — все они, я уверен, ведут в ту область, где философ науки, так же как и физик, может сказать свое слово.

Я думаю, что философ науки никаких извинений по поводу отклонений от парменидовской программы приносить не должен. С крушением демокритовской теории изменения она стала слишком узкой, несмотря на ее колоссальные заслуги, — и уже оказанные, и те, что ей еще предстоит оказать рациональной науке. Таков урок, который нам следует извлечь из недавних событий в истории современной физики. Необходимо попытаться расширить рамки рационализма.

33. Урок непарменидовой экономики

Наверное, достаточно лишь кратко упомянуть о том, что экономика была первой наукой, для которой отказ от исходной парменидовой программы обернулся колоссальным прорывом. Парменидова экономическая доктрина рассматривает экономический обмен как игру с нулевой суммой: в каждом акте обмена выигрыш одного означает проигрыш другого. Эта примитивная теория, базирующаяся на идее, которую можно было бы назвать «принципом сохранения богатства», послужила фундаментом меркантилизма. В ней коре-

няется марксистская теория, утверждающая, что накопление богатства у капиталистов должно в точности соответствовать увеличению нищеты рабочих. Таким образом, Маркс сохранял в своей политически наиболее революционной и важной из всех его доктрин довольно устаревшую деталь парменидовой экономической теории — и это несмотря на всю свою подчеркнута антипарменидову диалектику. Похожий взгляд все еще сохраняет свою популярность, и до сих пор его влияние можно почувствовать в борьбе за наибольший кусок при делении национального пирога.

Реальный прогресс в экономической теории начинается с отказа от этого парменидова предрассудка. Он начинался, когда Адам Смит ясно показал, что в добровольном обмене, как правило, *оба участника оказываются в выигрыше и никто не проигрывает*. Я полагаю, что это антипарменидово открытие все еще является наиболее важным уроком, который мы можем извлечь из экономики.

На этом я завершу мои исторические аргументы в защиту сознательно расширяющейся рационалистической программы. Я говорю о расширяющейся программе, так как у меня, конечно, нет намерения утверждать, что мы должны отказаться от поисков инвариантов. Я думаю, что мы должны не только продолжать поиски, но в то же время сознательно пытаться выходить за пределы этого.

34. За пределами поисков инвариантов: в направлении логической теории понимания

Конечно, мы не можем отказаться ни от парменидовой рациональности — поиска истинной реальности позади мира явлений и метода состязания гипотез и критицизма, — ни от поиска инвариантов. Но от чего мы должны отказаться, так это от отождествления реальности с инвариантами. Для того чтобы увидеть, каковы могут быть последствия этого, давайте рассмотрим в парменидову «таблицу противоположностей», составленную в стиле знаменитой таблицы пифагорейцев. Слева я располагаю то, что может быть названо «идеями Парменида, или категориями» («путем истины»), а с правой стороны — их антипарменидовы антагонисты («путь мнения»):

Необходимость	Случайность
Совершенство	Несовершенство
Точность	Приближение
Обратимость	Необратимость
Повторяемость	Изменчивость
Вещи	Процессы
Инвариантность	Возникновение

Идеи (или «категории»), перечисленные в этой таблице, не подразумевают чего-то определенного. Они — *только знаки*, которые служат напоминанием о некоторых теориях и проблемных ситуациях. Делая такое предупреждение, мы, рационалисты, осознанно признаем существование в этом мире непарменидовых идей. Помимо почти банального факта, о котором мы должны пом-

нить, что являющееся нам как вещь (включая элементарную частицу) всегда представляет собой процесс, мы должны признать важность *случайности, несовершенства, приближения, необратимости, изменчивости* и, переходя границу *инвариантности*, даже *возникновения*.

Я не буду много говорить о последних четырех противоположностях, так как уже немало сказал о *необратимости*, а также о соотношении *повторяемости* и *изменчивости*; может быть, достаточно только напомнить, что по крайней мере со времен Дарвина проблема (точного) повторения, или редупликации, противопоставленная неточному повторению или вариации, или мутации, должна быть признана в качестве проблемы фундаментальной важности почти для всех биологических явлений.

Включение категории *возникновение* может показаться рационалисту до некоторой степени сомнительным, и я допускаю, что эта категория нуждается в защите. Здесь я не буду развертывать защиту, так как я делал это раньше¹⁵¹. Однако я могу заметить, что философы науки едва ли могут работать без теории, которая позволяет объяснять возникновение, значимость и новизну идей и теорий (т. е. их «творческую эволюцию»).

Я только ограничусь здесь некоторыми замечаниями о различии между вещами и процессами и отношением этого различия к идеям *случайности, несовершенства, приближения*. Неясное различие между вещами и процессами, неоднократно подчеркивавшееся Уайтхедом, в физике может быть связано с различием между механикой материальных точек и механикой сплошной среды или между теориями частиц и полевыми теориями. Выше было упомянуто, что полевые теории проявляют детерминизм в меньшей степени, чем (лапласовская) механика материальных точек (потому что граничные условия должны быть заданы для каждого момента времени)¹⁵², равно как и роль, сыгранная идеей *случайности* в современной физике, которую обычно связывают с идеей независимости случайных событий, как, например, при бросании монеты. Но в современной физике играет роль не только *случайность* как полная независимость событий — в ней не менее важны приблизительная, или частичная, или несовершенная независимость: достаточно напомнить теорию броуновского движения Эйнштейна — Смолуховского или значимость теории марковских цепей и случайных блужданий. Таким образом *несовершенство* (включая несовершенную независимость) возникает вместе со *случайностью*¹⁵³.

¹⁵¹ См., например: Of Clouds and Clocks: an Approach to the Problem of Rationality and the Freedom of Man. The Second Arthur Holly Compton Memorial Lecture. Washington University, 1955 (вошла в качестве 6-й главы в «Objective Knowledge»).

¹⁵² См раздел 21.

¹⁵³ Интересно наблюдать, как Юм — большой противник всякого априоризма — отрицал *a priori* существование какой бы то ни было промежуточной формы между чистой случайностью и законоподобной зависимостью, в полной противоположности с нашим повседневным опытом, приобретенным хотя бы в попытках предсказывать капризы погоды (в которых тем не менее есть определенные закономерности), да и в противоположность нашим современным взглядам на физику и на другие науки. Так, в своем «Трактате» (с. 171 издания Нидлича 1978 г.) Юм утверждает, что нет ничего между случайностью и причинностью: «Так как дух должен

Но эти идеи *несовершенства* и *приближения* могут быть разработаны детальнее. Чтобы это проиллюстрировать, я сошлюсь на тот раздел современной физики, в котором определенную роль играет теория *резонанса* (и опять полевая теория). Почти любое взаимодействие может быть описано как резонанс — от взаимодействия между атомами, испускающими и поглощающими свет, до тех взаимодействий, связывающих их вместе в молекулы и кристаллы, и, стало быть, даже до «механических» взаимодействий, в основе которых лежит (относительная) непроницаемость твердых тел. (Необходимо заметить, что этот «резонанс» не обязывает нас принимать волновую теорию или квантово-теоретический «корпускулярно-волновой дуализм»: он полностью совместим с чисто корпускулярной интерпретацией.)¹⁵⁴

Но *резонанс* почти всегда несовершенен (хотя, наверное, он почти совершенен в случае когерентного излучения лазеров и мазеров)¹⁵⁵. Например, конечная ширина спектральных линий указывает на несовершенное или приблизительное равенство испускаемых частот.

Мы видим, что идея *приближения* (на первый взгляд, кажется, имеет отношение только к степени знания или незнания или, возможно, к росту нашего знания) играет также более объективную роль: эта идея необходима в физике для того, чтобы объяснить такие явления, как ширина спектральных линий или биения, возникающих в результате приблизительно равных звуковых частот, или ограниченная стабильность радиоактивных атомов (которая, очевидно, может быть измерена периодами их полураспада).

Почти универсальное *несовершенство* всех резонансных явлений связано с пространственно-временными свойствами нашей Вселенной: чтобы оказаться в идеальном резонансе, два осциллятора должны находиться на расстоянии, в точности равном кратному длине волны излучаемых колебаний, что оказывается невозможным, если мы имеем дело не с материальными точками, а протяженными физическими системами, находящимися в относительном движении. Более того, что-либо подобное идеальному резонансу оказывается невозможным из-за относительности одновременности (так как резонаторы не являются инерциальными системами: гиперплоскости одновременных событий для двух резонаторов, даже локализованных в одной и той же инерциальной системе, не будут все время одними и теми же, — они бу-

быть либо определен в переходе с одного объекта к другому, либо нет, то невозможно помыслить что-либо промежуточное между случайностью и необходимостью». Но это не так! Возьмите физическую задачу с n возможными исходами, вероятность каждого из которых равна $1/n$. Тогда у нас будет постепенный рост вероятности до полной достоверности по мере того, как количество учитываемых исходов растет от 1 до n . (См. об этом также: *Khinchine, A. I. Mathematical Foundations of Information Theory*. New York, 1957. P. 2 и след.)

¹⁵⁴ См. в особенности работы Альфреда Ланде (Alfred Landé). Там он делает упор на разработанную Дьюеном (William Duane) корпускулярную теорию явлений, *кажущихся* волновыми (включая резонанс).

¹⁵⁵ Связь когерентности света с необратимостью еще нуждается в дальнейшем изучении. Эту проблему начал изучать Макс фон Лауэ (см. *Annalen der Physik*. Bd. 4. Heft 20. 1906. S. 365ff; Heft 23. 1907. S. 795ff; а также *Physikalische Zeitschrift*. Bd. 9. 1908. S. 778ff), показавший возможность *увеличить разность температур между двумя (или больше) когерентными лучами света*, не пользуясь никаким компенсаторным (увеличивающим энтропию) процессом.

дут изменяться, особенно явно при высоких частотах, и они не смогут делать это одновременно).

Таким образом, *несовершенство* может стать основным строительным блоком нашего так очевидно непарменидова мира. Действительно, мир вряд ли смог бы существовать в совершенном резонансе — в таком мире ничего не могло бы произойти: это был бы на самом деле парменидов мир.

С другой стороны, вполне может оказаться, что несовершенные резонанс и интерференция смогут намного прояснить непарменидов характер нашего мира, и при этом нам не придется отказываться от каких-нибудь из парменидовых побед. Такой подход мог бы помочь не только в общей теории изменения, взаимодействия и необратимости, но, возможно, даже в теории эволюции.

Если идея несовершенного резонанса и вся предложенная программа имеют какой-то смысл, то, как это ни странно, их реализация будет означать возврат от философии Парменида к еще более древней философии — философии Гераклита, который писал:

Соединяй целое и не целое, согласное и не согласное, созвучное и не созвучное. Все дает одно, и одно дает все.

Люди не понимают, каким образом противоположности согласуются друг с другом. Мировая гармония заключается в сочетании напряжения и ослабления, подобно тому, как у лука и лиры то натягивают, то отпускают струну ¹⁵⁶.

На мой взгляд, парменидов метод инвариантов, по всей вероятности, не может разрешить проблему изменения, да и самого времени, в особенности его стрелы. Проблема изменения, разнообразия и борьбы, поставленная Гераклитом, лежит за границей метода инвариантов. Вот почему Парменид отрицает изменения. (И поэтому некоторые люди отрицают, что тут может заключаться проблема.)

Но эта похвала гераклитовой программе не указывает ли на готовность принять иррационалистические доктрины, такие, как витализм или бергсонизм? ¹⁵⁷ Я так не думаю ¹⁵⁸. Главная сложность этих теорий в том, что они не имеют объяснительной силы, не дают плодотворной исследовательской программы.

¹⁵⁶ DK 22 B10 и B51. [Цитата приведена в переводе Церетели, более близком по смыслу английскому переводу, использованному Поппером. У Лебедева этот фрагмент звучит так: «Сопряжения: целое и нецелое, сходящееся расходящееся, созвучное несозвучное, из всего — одно, из одного — все... Они не понимают, как враждебное находится в согласии с собой: перевернутое соединение (гармония), как лука и лиры» (с. 198–199).]

¹⁵⁷ Некоторые совершенно блестящие квантовые физики сделали недавно новую попытку восстановить нечто вроде витализма. Особенно известна попытка Юджина Вигнера показать, что биология должна выходить за рамки физики, потому что биологическая репродукция противоречит теореме квантовой механики (сформулированной самим Вигнером), что вероятность самовоспроизводящейся единицы равна нулю (см. его эссе *The Probability of the Existence of a Self-Reproducing Unit* // *Wigner, E. Symmetries and Reflections — Scientific Essays*. London, 1970. P. 93, сноска).

¹⁵⁸ См. мою *Quantum Theory and the Schism in Physics*. P. 159 и след.

С другой стороны, эти иррационалисты иногда видели *проблемы*, которые рационалисты парменидова толка не хотели видеть и слишком легко склонялись к тому, чтобы отклонять их как ложные.

Но мы никогда не должны бояться проблем, а лучший способ избежать иррационализма, я полагаю, состоит в том, чтобы вернуться к древнему постулату: мы должны всегда *пытаться понимать*.

Мы должны вернуться к этому постулату, обязывающему нас *понимать, насколько возможно, то, что мы делаем, занимаясь наукой*. Квантовые теоретики не были уж совсем пессимистичны относительно возможности понимания, так как были склонны сводить понимание к тому, что может быть изображено или представлено классическими механистическими моделями. Однако мне кажется, что мы можем развить *логическую теорию понимания* — и различных его степеней, — показывающую, что понимание совершенно не зависит от картин и моделей: теорию *рационального* понимания, основанную на чисто логической, а не психологической идее решения проблем и применяемую к наиболее абстрактным научным проблемам и к наиболее смелым научным теориям.

Конечно, такая теория будет: а) теорией проблем и их решений; б) теорией различных уровней проблем, ранжирующей их по степени предпочтительности. Я понимаю физическую или биологическую теорию, если знаю как она функционирует; если знаю ее достоинства (делающие ее предпочтительнее других теорий); и если знаю проблемы, которые она решает и которые не может решить, а также знаю новые предлагаемые ею проблемы. Как мы видим, понимание может иметь уровни. Вот почему мы можем говорить о «глубине» или об углублении нашего понимания ¹⁵⁹.

Такая рациональная теория понимания, я уверен, даст нам возможность совладать с проблемами, которые в прошлом часто оставлялись иррационалистами. Я думаю, что рационалисты не должны больше избегать этих проблем, они должны открыто противостоять им, как это делали Гераклит и Парменид, Больцман, Дарвин и Эйнштейн.

Перевод Н. Ф. Овчинникова

Примечание переводчика. Пользуюсь случаем поблагодарить сотрудников редакции ВИЕТ за помощь в работе над переводом текста и подготовке его к публикации.

¹⁵⁹ Я часто говорил своим студентам, что кто-то из них, возможно, покидает аудиторию с приятным чувством, что понял лекцию до последнего слова, в то время как кто-то другой не понял ничего. Однако совсем не исключено, что *первый* не сможет прокомментировать ее содержание ни единым словом, а *второй* может ясно объяснить, *почему* он не понял, показав, в действительности, более глубокое понимание, чем у самого лектора. А какой-то третий студент, может быть, окажется способным разрешить все затруднения второго.