**Язык науки и язык природы**

Аруцев Александр Артемьевич, Ермолаев Борис Валерьевич, Кутателадзе Ираклий Отарович, Слуцкий Михаил Семенович

Что такое время, знают вроде бы все. Но ни один человек не может дать понятию "время" однозначное словесное определение, не прибегая к формулировкам типа "масляное масло". И в этом заключается глубокий научный смысл: согласно известной теореме Гёделя о неполноте аксиоматического описания, подобные тавтологические конструкции представляют собой неизбежную особенность любого конечного словаря.

Известный философ Августин (354-430 гг. до н.э.) писал: "Я прекрасно знаю, что такое время, пока не думаю об этом. Но стоит задуматься - и вот я уже не знаю, что такое время".

Не правда ли, каждый пытающийся ответить на этот вопрос испытывает сходное затруднение? Когда мы задумываемся о времени, то возникает ощущение, что это неудержимый поток, в который вовлечены все события. Тысячелетний человеческий опыт показал, что поток времени неизменен. Казалось бы, его нельзя ни замедлить, ни ускорить. И уж конечно, его нельзя обратить вспять. Долго понятие времени оставалось лишь интуитивным представлением людей и объектом абстрактных философских рассуждений.

А вот Ричард Фейнман дал в своих лекциях по физике очень простое "определение" времени: "Время - это часы" ...

Выдающийся филолог академик Л.В.Щерба придумал забавную фразу, быстро ставшую хрестоматийной: "Глокая куздра кудланула бокра и кудрячит бокренка". Эта фраза звучит совершенно по-русски, совершенно по-русски звучат все составляющие ее слова; более того, мы совершенно ясно понимаем смысл запечатленного в ней образа. И это - несмотря на то, что ни одно слово, взятое само по себе, никакого смысла не имеет.

Смысл этой фразы нам удается понять потому, что любой язык - это не просто набор слов, каждое из которых имеет определенное значение, а набор слов, имеющих определенную конструкцию и сочетающихся друг с другом по определенным правилам, придающим языку в целом смысловую структуру. "Глокую куздру" невозможно буквально перевести ни на один язык мира; но, по-видимому, на любом языке мира можно придумать фразу, имеющую тот же самый смысл.

Природа тоже "говорит на своем языке", но в нем роль слов выполняют различные материальные объекты, взаимодействующие друг с другом по правилам, которые мы называем законами. Эти законы и позволяют передавать языком науки смысл того, что говорит природа, несмотря на то, что ни одно из ее слов не поддается буквальному переводу на человеческий язык. То есть любой ученый похож на переводчика, владеющего лишь правилами грамматики иностранного языка и упорно пытающегося передать своим языком непереводимую игру слов природы (В.Е.Жвирблис).

Время - форма последовательной смены явлений и состояний материи. Время и пространство - всеобщие атрибуты материи, неотделимы от нее, неразрывно связаны с движением и друг с другом. Вот максимум того, что мы можем сказать о времени, не впадая в тавтологию.

По опыту мы знаем, что время течет только в одном направлении, от прошлого к будущему, и поэтому говорим о "стреле времени". Почему нельзя обратить время вспять? А если это возможно, то что произойдет в мире, где прошлое и будущее поменяются местами?

Обычно гипотетический мир, в котором время течет вспять, сравнивают с кинофильмом, пущенным задом наперед. Ведь кинопроектор с движущейся в нем лентой - это своеобразные часы, обладающие способностью наглядно фиксировать последовательность реальных явлений.

Однако это касается далеко не всех событий, например горение свечи, демонстрировавшееся в ускоренном темпе сначала во времени "туда", а затем во времени "обратно". Когда на экране время текло в прямом направлении, в обычном направлении текло и время, измеряемое горящей свечой - ее длина уменьшалась; когда же экранное время обращалось вспять, обращалось вспять и время, отсчитываемое свечой, - она сама собой вырастала из лужицы воска. И все же что-то было не так. Ведь, несмотря на то, что время текло вспять и в кинопроекторе (пленка двигалась в обратном направлении), и на экране (свеча не таяла, а росла), пламя по-прежнему освещало все вокруг! Простое механическое обращение хода времени никак не повлияло на ход времени, направление которого задается процессом превращения энергии из одной формы в другую и определяется законами термодинамики.

Значит, чтобы на экране обратить термодинамическую "стрелу времени", нужно демонстрировать задом наперед не позитив, а негатив фильма! Тогда черное пламя свечи будет, подобно "черной дыре", как бы всасывать в себя электромагнитные волны, испускаемые всеми окружающими телами. Но как эти волны узнают, в каком направлении им надлежит распространяться, да еще строго согласованно друг с другом? Получается так, что обратить термодинамическое время вспять вообще невозможно!

**1. Категории "микро" и "макро"**

Законы механики Ньютона строго инвариантны, неизменны относительно изменения знака времени: замена +t на -t ничего в них не меняет. Поэтому и говорят, что механика обратима, - если мы абсолютно точно зададим начальные координаты и импульсы частиц, то можем узнать сколь угодно далекое прошлое и сколь угодно далекое будущее системы. Не беда, что мы не способны сделать это практически (ни один компьютер не справится с такой задачей), главное, что мы можем это сделать теоретически. В мире И.Ньютона все события раз и навсегда предопределены, это мир строгого детерминизма, в котором нет места случайностям.

А вот согласно второму началу термодинамики, в изолированной системе все процессы протекают только в одном направлении - в сторону повышения энтропии, возрастания хаоса, что сопровождается рассеянием, обесцениванием энергии. Так всегда и происходит на практике: сама собой лучистая энергия пламени свечи может только безвозвратно рассеиваться в пространстве. Однако можно ли этот принцип обосновать теоретически?

Обосновать какое-либо явление теоретически - значит вывести его из возможно более общих законов природы, принятых за основу научной картины мира. Такими законами по праву считаются законы механики Ньютона, и поэтому проблема формулируется следующим образом: как можно вывести необратимость термодинамики из обратимости механики?

Впервые эту проблему пытался решить во второй половине прошлого века Л.Больцман. Он обратил внимание на то, что термодинамическая необратимость имеет смысл только для большого числа частиц: если частиц мало, то система оказывается фактически обратимой. Для того чтобы согласовать микроскопическую обратимость с макроскопической необратимостью, Больцман использовал вероятностное описание системы частиц (это так называемая Н-теорема) и получил желаемый результат. Однако вскоре было показано, что уже само по себе вероятностное описание в неявном виде содержит представление о существовании "стрелы времени", и поэтому доказательство Больцмана нельзя считать корректным решением проблемы.

И вообще существование "стрелы времени" может быть только самостоятельным постулатом, потому что означает нарушение симметрии решений уравнений движения. Но какая физическая реальность соответствует такому постулату? Получается так, что либо из обратимой механики можно вывести только обратимую термодинамику (допускающую возможность "вечного двигателя" второго рода), либо необратимую термодинамику можно вывести только из необратимой механики (допускающей возможность "вечного двигателя" первого рода).

Интересно, что обе эти возможности действительно были испробованы. Сам Больцман пришел к выводу, что вся бесконечная Вселенная в целом обратима, а наш мир представляет собой по космическим меркам микроскопическую флуктуацию. А в середине нашего века пулковский астроном Н.А.Козырев попытался создать необратимую механику, в которой "стрела времени" имеет характер физической реальности и служит источником энергии звезд. Но точка зрения Больцмана допускает возможность нарушения причинности в отдельных достаточно обширных областях Вселенной, а точка зрения Козырева вводит в описание природы некую особую физическую сущность, подобную "жизненной силе".

**2. "Порядок из хаоса"**

Так называется известная книга нобелевского лауреата И.Р.Пригожина, написанная им в соавторстве с историком науки И.Стенгерс. Это название буквально в двух словах характеризует суть исследований, начатых этим замечательным ученым в пятидесятые годы нашего столетия и завершившихся созданием особой, неравновесной термодинамики.

Классическая термодинамика, которую Больцман пытался обосновать с помощью классической же механики, описывает только поведение строго изолированных систем, близких к состоянию термодинамического равновесия, отклоняющихся от него лишь в пределах чисто статистических флуктуаций. В таких системах могут происходить только процессы деструктивного характера, сопровождающиеся неуклонным возрастанием энтропии. Однако повсеместно в природе наблюдаются и процессы самоорганизации вещества, самопроизвольного возникновения из хаоса неравновесных, так называемых диссипативных структур. Наиболее яркими примерами подобных процессов могут служить явления самозарождения жизни и биологической эволюции.

Означает ли это, что в некоторых случаях второе начало термодинамики может нарушаться? Острая дискуссия на эту тему длилась многие годы и, в конце концов, завершилась победой сторонников строгого соблюдения фундаментальных законов природы. Но при этом был сделан ряд существенных уточнений, касающихся не самих законов, а границ их применимости к реальным системам. Так сказать, не самой структуры научного языка, а смысла используемых в нем слов. Например, ревизии пришлось подвергнуть смысл понятия "хаос".

Хаос, царящий в равновесных системах, носит сугубо статистический характер, и мы говорим лишь о вероятности отклонения системы от состояния равновесия. Реакция такой системы на то или иное возмущающее воздействие линейна - она прямо пропорциональна возмущающей силе и стремится вернуть систему в прежнее состояние. Так, если по гладкой трубе с небольшой скоростью течет жидкость, то в ней случайно возникают малые завихрения, но эти завихрения сами собой гасятся, и в целом поток остается упорядоченным, ламинарным.

Но если система сильно неравновесна, то есть обладает значительным избытком свободной энергии, то в ней может возникать хаос особого рода, называемый динамическим; реакция такой системы на возмущающие воздействия нелинейна и может быть сколь угодно большой при сколь угодно малом первичном возмущении. Так, если скорость движения жидкости по трубе превышает некоторую критическую величину, то малейшая неоднородность потока немедленно приведет к катастрофическому превращению ламинарного потока в неупорядоченный, турбулентный.

Однако, динамический хаос замечателен тем, что за внешне совершенно непредсказуемым поведением системы кроется строгий детерминизм - все происходящие в ней процессы можно математически рассчитать с любой требуемой точностью. Еще одна особенность такого хаоса заключается в том, что он может служить источником самозарождения строго упорядоченных структур. Например, в турбулентном потоке могут возникать устойчивые вихри - подобные вихри (так называемую "дорожку Кармана") можно наблюдать за быстро плывущей лодкой.

**3. Понятие системы**

Ревизии пришлось подвергнуть и смысл понятия "система". Когда система в целом находится в состоянии, далеком от истинного термодинамического равновесия, а это относится ко всем реально существующим системам, то в ее отдельных частях могут самопроизвольно происходить процессы самоорганизации, сопровождающиеся понижением энтропии. Если не учитывать того, что подсистемы, в которых из динамического хаоса самозарождаются диссипативные структуры, питаются свободной энергией внешней среды, то возникает видимость нарушения второго начала термодинамики. Но все становится на свои места, если принять во внимание то обстоятельство, что процессы самоорганизации, происходящие в локальных областях, сопровождаются неуклонным ростом энтропии всей системы в целом.

Так, жизнь на Земле зародилась в сильно неравновесной среде, а возникшие организмы стали жить и эволюционировать, потребляя свободную энергию, поступающую к ним извне, - то есть, в конечном счете, энергию Солнца. Но само Солнце не вечно (если, конечно, верна термоядерная гипотеза происхождения его энергии) и должно погаснуть после того, как весь водород превратится в гелий. Так же должны, видимо, рано или поздно погаснуть и все прочие звезды, в результате чего вся Вселенная погрузится во мрак "тепловой смерти", наступление которой пророчил в прошлом веке Р.Клаузиус.

Но в какой мере Солнце и звезды можно считать изолированными системами? Может быть, в действительности они связаны друг с другом какими-то особыми энергетическими потоками (возможность существования которых, кстати, допустил Н.А.Козырев)? Тогда, все далее и далее расширяя пределы рассматриваемой системы, мы будем отодвигать в бесконечность момент наступления "тепловой смерти" и придем к утешительному выводу о том, что она никогда не наступит. Именно путем таких рассуждений принято опровергать пессимистический прогноз Клаузиуса.

Увы, за легкомысленное обращение с бесконечностью приходится платить. В вечно существующей бесконечно большой нелокальной Вселенной уже не будет привычных нам пространства, времени и движения - а следовательно, в ней не будет ни энергии, ни вещества как таковых. Все известные нам законы природы могут иметь только локальный, местный характер.

Это значит, что неосторожное использование понятия "бесконечность" (а оно неявно содержится в таких часто употребляемых словах, как "мгновенное", "всегда", "никогда" и некоторых других) может приводить к парадоксальным умозаключениям и поэтому его смысл (как и смысл понятий "система", "хаос", проанализированных Пригожиным) тоже нуждается в уточнении.

**4. Бесконечность: потенциальная и актуальная**

С точки зрения математики бесконечно большая величина - это величина, которая все время возрастает, но никогда не достигает какого-либо определенного значения: n(t)>? при t>?. Такая бесконечность называется потенциальной, потому что она существует лишь в принципе; ее геометрический образ - прямая, неограниченно продолженная в обе стороны. Но математики могут прекрасно обходиться и без часов, необходимых для измерения времени, тайно содержащегося в символе n>?, что позволяет им обходиться для обозначения бесконечно большой величины упрощенной записью: n=?. Такая бесконечность называется актуальной, поскольку она как бы завершена к моменту, когда мы ей воспользовались; ее геометрический образ - любой конечный отрезок прямой, состоящей из бесконечного множества бесконечно малых математических точек.

Какая бесконечность более "правильная"? По сути дела, эта проблема была поставлена еще в знаменитых апориях Зенона (например, "Ахилл и черепаха"), но спор математиков (а также логиков и философов) на эту тему не завершен до сих пор. А вот физики зачастую не делают никаких различий между потенциальной и актуальной бесконечностями и очень раздражаются, когда в результате вычислений получают бесконечно большие величины, называемые расходимостями. И делают грубейшую ошибку, подменяя их просто очень большими, но конечными числами.

Вместе с тем не следует забывать, что для экспериментатора бесконечно больших (равно как и бесконечно малых) величин действительно не существует, он всегда получает конечные результаты, а хвост бесконечности упрятывает в ошибку с помощью теории вероятности. Что же касается бесконечностей, с которыми имеет дело теоретик, то к ним можно относиться двояко: считать их либо потенциальными, либо актуальными.

Потенциальная бесконечность поддается так называемой калибровке, ее можно в любой момент приравнять к нулю и начать отсчет сызнова, с t0=0; актуальная бесконечность такой процедуре не поддается, поскольку вообще существует вне времени и, соответственно, вне реальной физики.

**5. Законы Ньютона**

Модель Ньютона - это одно тело, движущееся в абсолютном бесконечном пространстве равномерно и прямолинейно до тех пор, пока на это тело не подействует сила (первый закон механики) или два тела, действующих друг на друга с равными и противоположно направленными силами (третий закон механики); сама же сила считается просто причиной ускорения движущихся тел (второй закон механики), то есть, как бы существует сама по себе и неизвестно откуда берется. По Ньютону, все взаимодействия происходят мгновенно, то есть с актуально бесконечно большой скоростью; однако для обитателей физического мира мгновенных взаимодействий быть не может, поскольку 1/n(t)>0 при n(t)>? только в том случае, если t>?.

Если соударения тел происходят действительно мгновенно, то есть за актуально бесконечно малый промежуток времени, то эти тела никогда не могли бы и никогда не смогут находиться на конечных расстояниях друг от друга, а должны всегда составлять единое целое, существующее вне времени и пространства. Наш многообразный физический мир должен представляться бесконечно малой точкой, внутри которой не существует ни причинности, ни законов сохранения, он актуально бесконечно мал и поэтому нелокален - в нем все явления связаны, скоррелированы друг с другом, потому что происходят в одно и то же время, в одном и том же месте, в одной бесконечно малой точке. Но с нашей точки зрения как конечных обитателей физического мира (то есть при взгляде на него как бы "изнутри"), этот мир потенциально бесконечен и, следовательно, непрерывно расширяется (n>?), но не рассеивается, потому что его расширение сопровождается эволюцией, а обитатели конечного физического мира не могут произвести полного обращения времени и вынуждены скрывать свою слабость с помощью теории вероятностей.

Иначе говоря, наш физический мир необратим только потому, что он локален, конечен во времени и в пространстве и проблема возникновения макроскопической необратимости из микроскопической обратимости есть ложная проблема, проистекающая из неверного понимания смысла слов языка, на котором классическая механика говорит с природой.

**6. Теорема Дж.Белла**

Согласно теореме Дж.Белла, всякая теория, выводы которой подтверждаются физическими экспериментами, не может быть одновременно локальной и детерминистской. Классическая механика описывает мир в духе строгого детерминизма и поэтому оказывается, по сути дела, нелокальной теорией, так как допускает возможность мгновенных взаимодействий. А классическая термодинамика локальна (иначе какой бы смысл имели законы сохранения?), и поэтому вероятностное описание происходящих в ней процессов, приводящее к выводу о существовании "стрелы времени", оказывается совершенно неизбежным. Получается, что теорема Белла реабилитирует Н-теорему Больцмана!

Динамический хаос поддается строго детерминированному математическому описанию, и поэтому вся созидающая среда в целом, в которой он существует, должна быть нелокальной, а все происходящие в ней процессы должны быть скоррелированными, согласованными друг с другом, несмотря на отсутствие обычных физических связей (обычных "сил"). Экспериментальная физика локальна, и поэтому ей приходится пользоваться для описания наблюдаемых явлений квантовой теорией и теорией относительности, не поддающихся истолкованию с точки зрения так называемого здравого смысла, требующего строго детерминированного взгляда на мир.

Наш мир столь сложен для восприятия только потому, что он познается человеком одновременно и с помощью разума, как бы "извне", и "изнутри", с помощью органов чувств, дополняемых различными приборами. В первом случае человек ставит себя в положение всемогущего ТВОРЦА; во втором случае он оказывается лишь исчезающе малой и бесконечно слабой пылинкой.