

Интерпретация некоторых следствий второго закона термодинамики в контексте современных физических исследований*

И.А. Карпенко

Статья посвящена анализу возможной связи второго начала термодинамики и времени. Рост энтропии как физический процесс достаточно хорошо изучен, однако по большей части с технической стороны, и философская интерпретация явления в свете актуальных исследований (в частности, инфляционной модели, голографического принципа, квантовой гравитации и др.) развита слабо. В работе акцентируется внимание на роли второго закона именно в связи с перспективными направлениями теоретической физики, которые позволяют взглянуть на его значение и следствия с новых позиций.

С целью решения этой задачи привлекается историко-научный и философский контекст, современные физические исследования. Предлагается два способа решения проблемы низкоэнтропийного начального состояния (в связи с концепцией «стрелы времени»). Один базируется на предположении, что если существует выделенная точка отсчета времени, то она должна характеризоваться относительно низкой энтропией (в силу своей различимости и уникальности). Другой подход основывается на том, что гравитация играет роль низкоэнтропийного фактора, который способен объяснить начальное состояние и наблюдаемый рост энтропии в выделенном направлении с течением времени.

В заключении делаются выводы о возможной значимости этих идей для разработки теории квантовой гравитации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: второй закон термодинамики, энтропия, время, стрела времени, гравитация, локальность, нелокальность.

КАРПЕНКО Иван Александрович — Школа философии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Москва, 105066, Старая Басманная ул., д. 21/4.

Кандидат философских наук, доцент Школы философии НИУ ВШЭ.

https://www.hse.ru/staff/Karpenko_gobzev@hse.ru

Статья поступила в редакцию 25 октября 2018 г.

Цитирование: *Карпенко И.А.* Интерпретация некоторых следствий второго закона термодинамики в контексте современных физических исследований // Вопросы философии. 2019. № 4. С. 58–68.

Второму закону термодинамики посвящено немало работ¹. Однако по большей части в этих исследованиях проблема изучается с физических позиций, и какая-то

*Статья подготовлена в ходе проведения исследования (грант № 17–01–0029) в рамках программы «Научный фонд Национального исследовательского университета "Высшая школа экономики" (НИУ ВШЭ)» в 2017–2018 гг. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5–100».

© Карпенко И.А., 2018 г.

интерпретация, которая бы устанавливала смысл и значение явления с философской точки зрения, часто отсутствует². Второй закон и следствия из него не получают, как правило, раскрытия в историко-философском контексте.

Результатом второго закона является рост энтропии, принцип, в соответствии с которым, говоря поверхностно, качественная энергия неизбежно переходит в некачественную. Порядок с течением времени переходит в хаос (здесь очень важна проблематика времени и возможная связь энтропии со временем, о чем будет сказано отдельно³). Однако и хаос при определенных обстоятельствах переходит в порядок. Энтропию можно определять, как меру упорядоченности (или беспорядка). Поскольку очевидно, что само по себе понятие беспорядка является неопределенным и умозрительным, то его можно попытаться определить как минимальную степень упорядоченности (фактически ее отсутствие). Но в таком случае нужно, конечно, выяснить во избежание тавтологических определений, что же означает упорядоченность.

Следует также установить возможные донаучные представления о явлении, некие философские интуиции, которые предшествовали научному открытию Второго закона и в некотором смысле соответствовали ему. Важно это, потому что в истории философии и науки всегда есть определенные связи и преемственность, без нахождения которых корректная интерпретация явления становится затруднительной, если не невозможной.

Таким образом, основная цель — понять, каково значение основных следствий из второго закона, и дать их корректную интерпретацию, что позволит сделать предположения о его связи со временем в свете проблемы начального состояния и о возможных новых путях в развитии современной физики, в частности, создании квантовой теории гравитации.

Постановка проблемы

Сложно говорить об энтропии, не связывая ее со временем, потому что все физические процессы протекают во времени. Притом не ясно, является ли оно физическим процессом, так как не существует четкого и однозначного определения времени. Связь в сильном смысле означает, что это одно и то же или одно является следствием другого. Вероятность такой связи существует. Дело в том, что понятие «время» является исключительно умозрительным, отражающим формировавшиеся с древности представления человека о чем-то меняющемся и преходящем в течение жизни, о разрушении и самоорганизации, а в действительности оно, возможно, было интуитивным представлением об энтропии и эволюции. Это очень смелое заявление, и я не намерен его отстаивать, но хочу лишь сказать, что научным открытиям могут предшествовать более ранние интуиции, которые в некой обобщенной и примитивной форме обозначают сложные явления, которые впоследствии получают математический анализ и экспериментальное описание.

Уже у античных философов было представление о чем-то таком, что мы сейчас называем фундаментальными законами природы, некоторых принципах, первоначалах, которые управляют миром. Интересно, что в ряде случаев эти принципы говорили как раз о том, что сейчас мы назвали бы самоорганизацией или ростом энтропии, о законах, согласно которым возникает порядок⁴ и со временем переходит в беспорядок. Апейрон Анаксимандра является подобным началом — все происходит от него, подчиняясь правилу «справедливости»: из чего объекты возникают, в то они и превращаются в назначенное время. Эмпедокл говорит о двух базовых принципах — любви и вражде. Пока преобладает любовь, происходит самоорганизация, соединение элементов в сложные структуры. Но затем начинает преобладать вражда и все распадается на элементарные компоненты. Вселенная Эмпедокла циклическая: порядок сменяется хаосом, хаос порядком и так до бесконечности. Еще пример можно найти у Филолая: он говорит о таком базовом принципе, как гармония, который придает материи форму. Анаксагор предлагает еще один фундаментальный принцип — Ум.

И в более ранних, еще мифологических представлениях, которые потом получили развитие как в философии, так и в науке, можно обнаружить идеи о некоем первоначале, отвечающем за организацию упорядоченных структур (и идеи, говорящие о

наличии некоего принципа, отвечающего за разрушение). Примеров можно привести много, важно, что некие первичные, примитивные интуиции о том, что мы сейчас называем низкоэнтропийным состоянием и ростом энтропии, существовали давно (разумеется, это далеко не точные корреляции).

Конечно, при наличии разницы в словарях и значениях входящих в них терминов доказать, что речь идет об одном и том же, крайне сложно. Это проблема выбора словаря, поскольку терминология в действительности не отражает и не описывает явления, а оказывается всего лишь предметом соглашения ученых. Например, для описания физической реальности можно использовать термин «частица», а можно «поле» (или даже струна), можно говорить о гравитационном притяжении, а можно об искривлении пространства. Интуитивно это разные вещи, однако применимы они к одной и той же физической реальности, которую можно описывать в разных терминах и получить одинаковые результаты в экспериментах.

Другой пример — в целом интуиция Демокрита о том, что мир есть атомы и пустота, кажется нам верной, хотя в строгом смысле она абсолютно неверна, если вдаваться в детали того, что Демокрит понимал под атомами и пустотой. Однако и современная Стандартная модель физики элементарных частиц (самое современное описание [Nagashima 2013; Schwartz 2013]) является математическим аппаратом, позволяющим эффективно описывать наблюдаемую реальность, в то время как в действительности она понимает частицы как точки, которые могут быть бесконечно малы⁵, это не физические объекты, а математические абстракты. Можно привести в качестве экзотического примера одноэлектронную теорию Р. Фейнмана и Дж. Уилера [Feynman 1949, 749–759], в которой утверждается, что существует только один электрон, путешествующий во времени, и которая позволяет делать разумные предсказания о нашей реальности.

Важно то, что физическую реальность можно описывать различными способами, позволяющими давать правильные результаты, согласующиеся с экспериментами. Говорит это о том, что не совсем ясно, какова описываемая физическая реальность «сама по себе»⁶. Это интуитивно понимали еще античные философы, говоря о том, что чувства не дают нам достоверных знаний (Парменид, Зенон, Мелисс, скептики, есть на это указания у Платона, Аристотеля, похожие идеи можно проследить и в средневековой философии, и философии Нового времени). Даже позиция о том, что Существовать — значит быть воспринимаемым, утверждал Дж. Беркли, но это не значит, что воспринимаемая реальность есть подлинная реальность. Она может быть выдумана, и это лишь то, что мы в состоянии воспринимать. Но отчетливее всего проблему артикулирует Кант, различая феноменальное и ноуменальное: познаваемое и то, что не может быть познано, вещи сами по себе. Интересна в данном контексте и его мысль, что время и пространство есть априорные формы чувственности, а не реальные физические объекты.

Поэтому, связывая энтропию, понятие, достаточно ясно определенное с физической точки зрения, и время — нечто предшествующее каким-либо строгим научным понятиям, смутное и интуитивное, будем предельно осторожны. К тому же, интерпретируя явление энтропии с философской точки зрения, мы натываемся на указанную выше неизбежную проблему — можем ли мы в принципе понять, что стоит за этим феноменом, и насколько наши интуиции приближаются к сути дела⁷.

Сущность второго закона

Общеизвестно, что второе начало термодинамики было открыто инженером С. Карно в 1824 г., решавшим задачи чисто практического характера, не имеющие отношения к фундаментальной науке. Он обнаружил, что работа парового двигателя является необратимым процессом, то есть какое-то количество энергии при работе всегда теряется. Позже Р. Клаузиусом было сформулировано понятие энтропии. Суть его идеи заключалась в утверждении, что теплота не может переходить от холодных тел к горячим. Происходит обратный процесс, выравнивание температур со временем (и процесс этот необратим). Холодное тело станет не еще холоднее, а горячее — при их взаимодействии.

Клаузиус понял, что открыл новый закон природы. Сформулировать его можно следующим образом: энтропия (количество теплоты, поделенное на температуру тела) изолированной системы либо остается постоянной, либо со временем увеличивается. Максимального значения энтропия достигает, когда температура выравнивается (состояние равновесия).

До Л. Больцмана никто не связывал энтропию с атомами. Ее рассматривали как некую самостоятельную независимую силу. Больцман же предложил новую формулировку, которая согласуется с современными представлениями. Суть его идеи заключается в том, что энтропия — это количество микроскопических состояний системы, которые с макроскопической точки зрения неразличимы. Такое понимание возможно только благодаря принятию атомизма. Чтобы прояснить его, проведем мысленный эксперимент. Возьмем, следуя практике Эврита, как о ней свидетельствует Аристотель [Аристотель 1934, 14–15], набор небольших камней. Например, четыре. Будем их бросать на какую-либо поверхность. Иногда (редко) после броска они складываются в правильный квадрат. Все остальные состояния для нас хаотичны и потому неотличимы друг от друга, и только одно упорядоченно. Теперь возьмем сто камней с целью получить фигуру лошади. Высыпая их на пол раз за разом, мы никогда не получим фигуру лошади (точнее получим, но ждать придется долго, возможно дольше, чем существует Вселенная). Все эти кучи, хотя камни и расположены в них по-разному, неразличимы для наблюдателя. Но, получив наконец лошадь, мы отличим ее от кучи. Аналогично кучу песка можно насыпать вновь и вновь, и все эти кучи будут одинаковы, они не будут складываться в нечто, отличное от кучи, например в песчаный замок. В этом суть энтропии по Больцману: существует намного больше способов создать беспорядок, чем создать порядок.

Тут может возникнуть ощущение, что энтропия всего лишь фокус, отражающий отсутствие знания о системе. Если бы мы могли уследить за всеми камнями и песчинками, то, конечно, все кучи были бы для нас разными. Это действительно так. Только дело в том, что Больцман ввел в дело элементарные частицы, а за ними уследить в принципе невозможно.

Суть принципа неопределенности Гейзенберга в том, что невозможно одновременно измерить импульс и положение частицы. Чем точнее мы определяем один из параметров, тем более неопределенным становится другой. Поведение частицы описывается волновой функцией, ее эволюция во времени — уравнением Шредингера. До измерения мы принципиально не можем знать, где она находится и с какой скоростью (включая направление) движется. Проведя же измерение⁸, мы не можем сказать, где она была до этого и вернуть систему в исходное состояние, то есть этот процесс необратим⁹.

Возможно только вероятностное предсказание. Мы можем сказать, что в большинстве случаев результат будет каким-то. Иначе говоря, микромир ненаблюдаем в неконтролируемом состоянии, проводя же измерение, мы нарушаем его свободное состояние и ничего не можем сказать о том, каков он был сам по себе. Квантовые флуктуации (постоянное рождение и аннигиляция виртуальных частиц), которые влияют на состояние микромира, усложняют дело, поскольку эти процессы случайны.

Таким образом, полное знание о микроскопических системах невозможно. Они в принципе неразличимы макроскопически, и чем больше элементов в системе, тем больше существует наборов неразличимых состояний.

Энтропия и время

А. Пуанкаре в знаменитой теореме о возвращении¹⁰ показал, что любая система по истечении определенного времени обязательно вернется в исходное состояние. Для системы из вышеприведенного примера с четырьмя элементами (квадратом из камней) время возврата относительно невелико, существует не так много способов расположения их в замкнутой системе. Однако если элементов много, то возрастает и время возврата, и для системы уже с сотней элементов время возврата очень велико — может исчисляться миллиардами лет. Тем не менее важно то, что согласно теореме любая система, даже

очень сложная, вернется в исходное состояние, нужно лишь подождать достаточно долго (с математической точки зрения, возможно, бесконечно долго). Но когда-нибудь состояние с высокой энтропией вернется в состояние с низкой энтропией. Здесь очевидно противоречие, о котором знал Пуанкаре: согласно второму закону термодинамики энтропия изолированной системы либо возрастает, либо остается неизменной. Но по его теореме размытый морем песчаный замок рано или поздно появится вновь, то есть высокоэнтропийное состояние неизбежно перейдет в низкоэнтропийное.

Согласно его идее, созвучной, кстати, идее вечного возвращения Ницше, система должна вернуться в исходное состояние, но на этом пути она будет оказываться и во всех различных конфигурациях, среди которых неизбежны повторения. Это логично: любой конечный набор элементов с учетом бесконечного времени должен принимать все возможные конфигурации, в том числе и бесконечно повторяющиеся, а выходом из высокоэнтропийного состояния оказываются флуктуации — случайные низкоэнтропийные конфигурации, которые неизбежны в статистической механике. И здесь кроется проблема — связан ли ход и направление времени с ростом энтропии?

Чтобы разобраться с этим, поставим следующий мысленный эксперимент. Представим, что время остановилось. (Отдельный вопрос, представимо ли это в принципе. Если принять кантианскую позицию, что время — априорная форма чувственности, то остановка времени означает прекращение восприятия, смерть субъекта.) Тем не менее допустим, что время остановилось. Можно ли вообразить, что какие-то процессы при этом продолжают происходить? Есть только застывший миг¹¹ настоящего, статичное мгновение: будущее не наступает, прошлым он не становится. Конечно, наблюдать это мгновение невозможно, потому что наблюдение — это процесс, а все процессы, которые мы знаем с макроскопической точки зрения, происходят во времени. Но допустим все же, что это произошло. В таком случае никакие процессы не происходят. Но отсутствие всяких процессов сопоставимо с состоянием с максимальной энтропией, то есть с состоянием температуры, близким к абсолютному нулю. При такой температуре процессы происходить не могут, энтропия максимальна. Однако в действительности у вселенной с максимально возможной энтропией, по всей видимости, не будет температуры абсолютного нуля по причине квантовых флуктуаций — она будет очень низка, но выше нуля. Этим, кстати, и объясняется невозможность «застывшего мгновения» — это состояние абсолютного нуля, которое не может быть достигнуто. Квантовые флуктуации — это процессы, а все процессы, как мы предположили, происходят во времени. Но поскольку они происходят всегда, то, значит, время в принципе не может остановиться.

Аристотель, не соглашаясь с Платоном (время есть подобие вечности), определял время через движение (время есть мера движения). В этом есть с точки зрения нашего мысленного эксперимента определенный смысл. Но в таком случае время само является неким процессом, который неостановим. Тогда возникает вопрос: мог ли это процесс когда-либо иметь начало, если он не может иметь конца?

По мнению Августина, время возникло вместе с творением вселенной, поэтому нет смысла спрашивать, что было до, так как никакого «до» не было. Но что означает отсутствие времени? В нашей логике — отсутствие энтропии.

Согласно инфляционной модели возникновения вселенной [Guth 1998], до того как случился Большой взрыв, вероятно, породивший время и энтропию, происходили процессы в поле инфлатона (ложном вакууме), которые и являются причиной инфляции. Но можно ли сказать, что сами эти процессы, если это можно назвать процессами, происходят во времени? Если да, то ложный вакуум обладает энтропией, отличной от нуля (причем низкой). Вселенная возникает в результате нарушения симметрии, когда различные взаимодействия (сначала гравитационное, потом сильное, слабое и электромагнитное) отпадают от начального единого взаимодействия. Это начальное состояние — до возникновения вселенной — абсолютно симметрично, а значит, вспоминая связь упорядоченности с энтропией, выделено и потому относительно низкоэнтропийно. Однако проблема в том, что энтропия должна возрастать (согласно второму закону термодинамики). Она должна увеличиваться от настоящего

момента в обоих направлениях, прошлое и будущее, а здесь связка со временем теряет смысл. Получается, что если стрелу времени характеризовать как рост энтропии, то оба направления, вперед и назад — это наше будущее. Свойство нашего сознания таково, что в памяти фиксируются состояния с низкой энтропией, но мы не знаем будущего — не можем «увидеть» состояния, когда энтропия станет выше (возрастет беспорядок).

В принципе, опять же апеллируя к Канту, можно было бы сказать, что это всего лишь свойство нашего сознания — располагать события определенным образом во времени и пространстве, однако к реальности это не имеет никакого отношения. Эта идея созвучна и Теории относительности, где дается картина единого пространства-времени, в котором нарушается принцип одновременности. Прошлое и будущее не универсальны, они зависят от точки зрения наблюдателя, его положения, скорости и направления движения, локальных искривлений пространства-времени. Во вселенной ОТО все моменты времени и события уже заданы изначально в едином блоке пространства-времени, и то, что случилось для одного наблюдателя в прошлом, для другого происходит сейчас, для третьего только еще случится (другое дело, что они не могут друг друга об этом информировать). В этом смысле сознание способно лишь воспринимать события, которые уже заданы в пространстве-времени, по какой-то причине располагая их по своей внутренней шкале прошлого/будущего.

Но если принять точку зрения, что прошлое объективно, что наша память реальна, то энтропия в прошлом должна была быть низкой. В противном случае наши воспоминания не реальны и являются результатом флуктуации (очень редкой, но в неограниченном времени неизбежной). Если энтропия возрастает от настоящего момента в прошлое и будущее, значит наши воспоминания о том, как размыло песчаный замок, как разбилось стекло, как растеклось яйцо, ненастоящие, потому что на самом деле мы должны помнить обратные процессы. Значит, я, мы со всеми нашими воспоминаниями или вся вселенная — результат редчайшей флуктуации (спонтанного соединения элементарных частиц в упорядоченные структуры), которая возникла вся целиком в какой-то момент (возможно, прямо сейчас). Принять такую гипотезу сложно, она мало правдоподобна.

Два пути решения проблемы начального состояния

Более правдоподобной выглядит гипотеза о низкоэнтропийном состоянии вселенной в момент ее зарождения. Эта гипотеза объясняет стрелу времени, свойство нашей памяти и результаты наблюдений. Но проблема в том, что сама она нуждается в обосновании — нет явных причин, почему энтропия в далеком прошлом была низкой, поскольку она должна неограниченно возрастать как в прошлое, так и в будущее. Проблему можно попытаться решить двумя путями. Первый путь — это допущение о природе времени. Время можно рассматривать как некую фундаментальную сущность, которая задана изначально и была до возникновения вселенной. С этой точки зрения объяснить низкую энтропию в прошлом крайне трудно, ведь в таком случае, как уже было сказано, энтропия должна возрастать как в прошлом, так и в будущем. Но можно предположить (и вполне обоснованно, учитывая, что в начальном сингулярном состоянии структура пространства-времени нам неизвестна, и ясно только, что она не была такой же, как в наблюдаемом состоянии), что время в привычном понимании возникает вместе со вселенной. Такое предположение впервые высказал, как уже было отмечено, Августин (естественно с богословских позиций — Бог создал мир и время). Таким образом, если связывать стрелу времени и энтропию, то очевидно, что она должна была быть низкой в прошлом, потому что появляется выделенная точка отсчета — начало времени. Поскольку выделенная точка отсчета макроскопически различима, она безусловно отличается от всех других возможных последующих состояний и потому низкоэнтропийна (относительно других состояний).

Логично тут же предположить, что конец времени — состояние с максимальной возможной энтропией, вселенная с температурой близкой к абсолютному нулю. Можно допустить, что рано или поздно (например, в результате флуктуаций) система

вернется в исходное состояние с низкой энтропией, что будет означать новую выделенную точку отсчета времени. Однако при понижении энтропии время не пойдет вспять (можно объяснить тем, что, локально понижая энтропию, например, складывая камешки в фигуру лошади и строя песчаный замок, мы все равно производим работу, и общая энтропия возрастает).

Другой путь, если отбросить дискуссию о том, является ли время некой фундаментальной вечной величиной или же возникает в какой-то момент и является свойством материи, заключается в анализе начального состояния вселенной, а именно Большого взрыва.

Раньше мы определяли энтропию как меру беспорядка. Однако это на самом деле не совсем корректно. Заменим камешки из нашего примера молекулами газа. Если их собрать в небольшой области пространства (например, в середине контейнера), то, конечно, энтропия этого состояния будет ниже энтропии молекул, находящихся в контейнере в свободном состоянии. Самое интересное в следующем — чем сильнее мы будем сжимать область пространства, то есть чем в меньшее пространство мы будем втискивать эти молекулы, тем меньше будет энтропия этого состояния (поскольку мы тем самым сокращаем число возможных перестановок в пространстве). Теперь допустим, что молекулы сложились в фигуру лошади, в макроскопически различимое состояние с низкой энтропией.

Существует гораздо больше способов расположить молекулы в фигуру лошади, чем собрать их в очень маленькой области пространства (меньше чем фигура лошади), а значит, энтропия второй системы ниже. Однако упорядоченной мы назовем именно первую систему (лошадь).

Большой взрыв предполагает несколько фазовых переходов, в ходе которых образуется излучение и вещество. На определенном этапе возникает и гравитация (точнее отделяется от других взаимодействий). Она начинает играть самостоятельную роль, когда нарушается симметрия (в момент окончания планковской эпохи).

Выше обсуждалась связь энтропии с порядком. Раннее состояние вселенной — состояние комка горячей плазмы — сложно назвать упорядоченным в обычном смысле, и это состояние с высокой энтропией. Однако в нем уже играют роль гравитационные эффекты. Гравитация заставляет вещество принимать макроскопически различимые конфигурации, то есть при наличии гравитации оно ведет себя иначе, чем при ее отсутствии. Под действием гравитации вещество теряет однородность и начинает собираться в сгустки (элементы притягивают друг друга, скопления элементов притягиваются сильнее). Формируются галактики, звездные системы, звезды и планеты из газопылевых облаков в результате гравитационного взаимодействия. Разумеется, в ходе этих процессов общая энтропия возрастает, но речь идет о том, что сама гравитация является низкоэнтропийным фактором, необходимым условием для последующего роста энтропии. Таким образом, наличие гравитации позволяет объяснить низкоэнтропийное начальное состояние. В таком случае гравитация определяет стрелу времени, возникает вопрос о связи гравитации, энтропии и времени.

Заключение

Связь энтропии с гравитацией (а гравитация непосредственно связана со временем, например, в ОТО) позволяет обозначить подход к построению теории квантовой гравитации¹². Очевидно, что эффекты квантовой гравитации должны играть определяющую роль на ранних этапах возникновения вселенной, когда она имела параметры планковских величин (возможно, предельных величин, на которых имеют смысл классические представления о пространстве и времени). Одни из объектов, для описания которых квантовая гравитация имеет определяющее значение, черные дыры.

Черная дыра — это предел гравитационного сжатия вещества. В определенную область пространства можно поместить черную дыру заданного размера и, соответственно, заданное количество энтропии¹³. Это значит, что гравитация накладывает ограничение на количество энтропии, которое может содержаться в конкретной области пространства.

Ст. Хокинг, основываясь на исследованиях Я. Беккенштейна, установил [Hawking 1974, 30–31], что энтропия черной дыры равна j площади ее горизонта (в планковских единицах, единицу планковской длины можно рассматривать как один бит информации). Таким образом, энтропия (и информация) связана не с объемом черной дыры, а с ее поверхностью. Это позволило в дальнейшем Л. Сасскинду [Susskind 1995, 6377–6396] и Г. 'т Хоофту [t' Hooft 1993] показать, что информация об объекте содержится не в объекте (в смысле его объема), а на его поверхности. Например, вся информация о трехмерном объекте содержится на его двумерной поверхности (это получило название голографического принципа).

Основываясь на этом результате¹⁴, Х. Малдасена установил дуальность двух теорий разных размерностей, одна из которых содержит гравитацию, а другая нет [Maldacena 1999, 1113–1133]. Было показано, что гравитационную теорию можно в соответствии с голографическим принципом описывать языком теории другой размерности (в более простом математическом аппарате), в которой гравитации нет. Это чисто теоретический результат, описывающий модели, не применимые буквально к нашему миру, но важность его в том, что за счет эквивалентности теорий он позволяет косвенно описывать квантовую гравитацию¹⁵.

Квантовые эффекты нелокальны — они действуют мгновенно (связь между удаленной поверхностью и ее проекцией большей размерности нелокальна). Нелокальность квантовой гравитации (наблюдается нелокальность, например, в запутанности частиц), вероятно, является важным аргументом в пользу низкой энтропии в начальном состоянии, когда ее эффекты играли ключевую роль. Там, где появляется нелокальность, классические представления о пространственно-временных связях не эффективны — все события оказываются связанными. Возможно, причина нелокальности заключается в многомерности пространства на микроуровне, на чем настаивает теория суперструн¹⁶, где дополнительные измерения открывают новые пространственно-временные связи.

Как было показано на более крупных масштабах, гравитационные эффекты создают особые низкоэнтропийные начальные условия, в которых возникают неоднородности¹⁷, начинается рост энтропии, задающий стрелу времени (которому, в принципе, может предшествовать состояние с высокой энтропией, а может и нет — состояние до «творения» абсолютно симметрично¹⁸, и неясно, можно ли считать такое состояние низкоэнтропийным или нет). Возвращаясь к теореме Пуанкаре, можно предположить, что состояние с максимальной энтропией (когда все черные дыры испарились и осталось только пустое однородное пространство элементарных частиц) по прошествии какого-то времени в результате квантовых флуктуаций и гравитационных эффектов переходит в состояние с низкой энтропией. Правдоподобие этого сценария становится выше, если учитывать, что речь не идет о каком-то невероятно низкоэнтропийном состоянии (в нем и нет необходимости). Энтропия начального состояния может быть высокой¹⁹.

Примечания

¹ Вот некоторые из наиболее актуальных монографий, в которых рассматривается как история вопроса, так и современное значение закона и его приложения: [Attard 2012; Blundell, Blundell 2009; Borgnakke, Sonntag 2012; Grandy 2008; Greven, Keller, Warnecke (eds.) 2003].

² Речь идет о том, что часто имеющимся работам не хватает философского бэкграунда. Например, см. [Morin 2014; Smolin 2013],

³ Отдельно о проблеме времени в физике см. [Аршинов 2013, 4–24; Владимиров 2014; Севальников 2018, 73–77; Karpenko 2016; Landes 2000].

⁴ Вообще, фундаментального закона, согласно которому должен возникать порядок, не существует.

⁵ В этом заключается причина, почему не удастся связать квантовую теорию поля с общей теорией относительности и создать полноценную теорию гравитации, поскольку в Стандартной модели частицы могут быть сколь угодно малы, при переходе ко все меньшим масштабам квантовые флуктуации неограниченно возрастают и пространство ОТО перестает быть гладким, что приводит к бесконечностям в решениях объединенных уравнений той и другой теории.

Теория суперструн пытается решить этот вопрос, вводя ограничения на размеры частиц, т.е. превращая их не в абстрактные математические, а в конкретные физические объекты, имеющие предельную длину (длина Планка).

⁶ Вопрос в том, должна ли реальность быть однозначной. Возможно, различные описания (математические) могут быть одновременно верны. Наше интуитивное представление о том, что есть фиксированная физическая реальность, которая должна быть как-то однозначно описана в единственно верных терминах, может оказаться сама по себе неверной (в пользу этого свидетельствует, например, дуальность совершенно различных теорий, обнаруженная Э. Виттеном, Х. Малдасеной и другими).

⁷ Тут хочется сказать в защиту науки, что все же приближаемся, об этом свидетельствуют очень успешные с экспериментальной точки зрения теории. Речь, скорее, идет о том, не является ли это приближение бесконечным. См. на тему проблемы реализма [Карпенко 2015, 36–72] и контекстуализма в философии науки [Порус 2018, 75–93].

⁸ О проблеме измерения в квантовой механике см. актуальные работы [Belavkin 2000, 101–129; Braginsky, Khalili, Thorne (eds.) 1992; Greenstein, Zajonc 2005] и, конечно, ставшую классической коллективную монографию [Wheeler, Zurek (eds.) 2014].

⁹ В этой связи напрашивается предположение, что квантовое измерение определяет стрелу времени (поскольку оно необратимо). Однако классическая физика (механика Ньютона) полностью обратима. Ее законы выполняются как в одну сторону, так и в другую, она не различает направления времени.

¹⁰ Сформулирована [Poincaré 1890, 1–270], доказана [Carathéodory 1919, 580–584], версия для квантовой механики [Schulman 1978, 2379–2380].

¹¹ Еще одна проблема: не совсем понятно, что такое «застывший миг настоящего». По всей видимости, это возможно только при принятии дискретности времени. Эта проблема неявно возникает еще в апориях Зенона, говорит о ней Августин и т.д. (см. интересный обзор [Койре 1985, 27–51]).

¹² См., например, о проблеме построения теории квантовой гравитации [Hamber 2009; Oriti (ed.) 2009; Vincent (ed.) 2012].

¹³ Энтропия излучения черных дыр выше, чем энтропия их самих, а энтропия абсолютно пустого пространства еще выше.

¹⁴ А также на важном результате Э. Виттена [Witten 1995, 85–126].

¹⁵ См. актуальные соображения о связи квантовой запутанности и гравитации [Карпенко 2018].

¹⁶ См. о современных работах о многомерности в теории струн [Zwiebach 2009; Yau, Nadis 2010].

¹⁷ Как показывают исследования реликтового излучения, эти неоднородности могут являться следствием ранних квантовых флуктуаций, но это не отменяет роли гравитационных эффектов.

¹⁸ В том смысле, что фундаментальные взаимодействия не были разделены (нарушения симметрии, которые мы наблюдаем сейчас, еще не произошли).

¹⁹ Например, начальное состояние могло быть с энтропией 10^{88} , сейчас 10^{101} , а максимальное значение 10^{120} . Очевидно, что между этими значениями разница огромной величины, но и 10^{88} — это не низкая энтропия.

Источники – Primary Sources in Russian Translation and English

Аристотель 1934 – *Аристотель*. Метафизика. М.: СОЦЭКГИЗ, 1934 [Ἀριστοτέλης Μετὰ τὰ φυσικά (Russian Translation)].

Bornakke, Claus, Sonntag, Richard (2012) *Fundamentals of Thermodynamics*, Wiley, New York.

Grandy, Walter (2008) *Entropy and the Time Evolution of Macroscopic Systems*, Oxford University Press, Oxford.

Greven, Andres, Keller, Gerhard, Warnecke, Gerald (eds.) (2003) *Entropy*, Princeton University Press, Princeton.

Ссылки – References in Russian

Аршинов 2013 – *Аршинов В.И.* Время – коммуникация – Вселенная / Казютинский И.О. (ред.). *Метавселенная, пространство, время*. М.: Институт философии РАН, 2013. С. 4–24.

Владимиров 2014 – *Владимиров Ю.С.* Природа пространства и времени: антология идей. М.: URSS, 2014.

Карпенко 2015 – *Карпенко А.С.* В поисках реальности: Исчезновение // *Философия науки*. Т. 20. 2015. С. 36–72.

Карпенко 2018 – *Карпенко И.А.* Философская интерпретация современных подходов к созданию квантовой теории гравитации // *Философия науки и техники*. 2018. Т. 23. № 1. С. 54–67.

Койре 1985 – *Койре А.* Заметки о парадоксах Зенона // *Очерки истории философской мысли*. М.: Прогресс, 1985. С. 25–71.

Interpretation of the Several Corollaries of the Second Law of Thermodynamics in the Context of Relevant Physical Research*

Ivan A. Karpenko

The article focuses on an analysis of the possible connection between the second law of thermodynamics and time. The growth of entropy as a physical process — mostly its technical side — has been well studied but in fact there is no philosophical interpretation of this phenomenon according to the current research, in particular, regarding the inflation model, black holes, the holographic principle, the quantum gravity, etc. Article enhances the role of the second law in its precise connection with these promising areas of theoretical physics, which allow us to take a fresh look at law's significance and corollaries.

In an effort to achieve this task the contexts of history of science, philosophy and modern physical research are involved. The article proposes two ways of handling the low-entropic initial state (in connection with the concept of “time arrow”). The first one is based on the assumption that if there is a selected time reference point when it should have relatively low entropy (because of its distinguishability and uniqueness). Another approach is based on the fact that gravity plays the role of a low-entropy factor which is able to explain the initial state and the observed increase in entropy in the selected direction over time.

In conclusion these ideas' possible significance for the development of the quantum gravity theory is introduced.

KEY WORDS: second law of thermodynamics, entropy, time, arrow of time, gravity, locality, nonlocality.

KARPENKO Ivan A. — School of Philosophy, National Research University Higher School of Economics, 21/4, Staraya Basmannaya str., Moscow, 105066, Russian Federation.

CSc in Philosophy, Associated professor, Faculty of Philosophy, NRU HSE.

gobzev@hse.ru

<https://www.hse.ru/staff/Karpenko>

Received on October 25, 2018.

Citation: Karpenko, Ivan A. (2019) “Interpretation of the Several Corollaries of the Second Law of Thermodynamics in the Context of Relevant Physical Research”, *Voprosy Filosofii*, Vol. 4 (2019), pp. 58–68.

DOI: 10.31857/S004287440004794-8

References

Arshinov, Vladimir I. (2013) ‘Time — Communication — Universe’, Kazytinski, I.O. (ed.), *Metaverse, space, time*, Institut filosofii RAN, Moscow, pp. 4–24 (in Russian).

* The article was prepared within the framework of the Academic Fund Program at the National Research University Higher School of Economics (HSE) in 2017–2018 (grant № 17-01-0029) and by the Russian Academic Excellence Project «5-100».

- Attard, Phil (2012) *Non-equilibrium Thermodynamics and Statistical Mechanics: Foundations and Applications*, Oxford University Press, Oxford.
- Barton, Zwiebach (2009) *A First Course in String Theory*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Belavkin, Viacheslav P. (2000) 'Dynamical Solution to the Quantum Measurement Problem, Causality, and Paradoxes of the Quantum Century', *Open Systems and Information Dynamics*, 7 (2), pp. 101–129.
- Blundell, Stephen J., Blundell, Katherine M. (2009) *Concepts in thermal physics*, Oxford University Press, Oxford.
- Braginsky, Vladimir B., Khalili, Farid Y., Thorne, Kip S. (ed.) (1992) *Quantum Measurement*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Carathéodory, Constantin C. (1919) 'Ueber den Wiederkehrsatz von Poincaré', *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften*, pp. 580–584.
- Feynman, Richard (1949) 'The Theory of Positrons', *Physical Review* 76 (6), pp. 749–759.
- Greenstein, George S., Zajonc, Arthur G. (2005) *The Quantum Challenge: Modern Research on The Foundations of Quantum Mechanics*, Jones & Bartlett Learning, Burlington.
- Guth, Alan (1998) *The Inflationary Universe: The Quest For A New Theory of Cosmic Origins*, Basic Books, New York.
- Hawking, Stephen W. (1974) 'Black Hole Explosions?', *Nature*, 248 (5443), pp. 30–31.
- Hamber, Herbert (2009) *Quantum Gravitation: The Feynman Path Integral Approach*, Springer Publishing, New York.
- Karpenko, Alexander S. (2015) 'In search of reality: Disappearance', *Filosofija nauki*, Vol. 20, pp. 36–72 (in Russian).
- Karpenko, Ivan A. (2016) 'What is Time in Modern Physics?', *Epistemology and Philosophy of Science*, Vol. 49, No. 3, pp. 105–124.
- Karpenko, Ivan A. (2018) 'Philosophical interpretation of modern approaches to the creation of quantum theory of gravity', *Filosofija nauki i tehniki*, Vol. 23, No. 1, pp. 54–67 (in Russian).
- Koyré, Alexander (1964) 'Notes sur les paradoxes de Zeno', *Etudes d'histoire de la pensée philosophique*, Gallimard, Paris.
- Landes, Davis (2000) *Revolution in Time: Clocks and the Making of the Modern World*, Harvard University Press, Cambridge.
- Maldacena, Juan (1999) 'The Large N Limit of Superconformal Field Theories and Supergravity', *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 38, No. 4, pp. 1113–1133.
- Morin, Edgar (1977) *La méthode 1. La Nature de La Nature*, éditions du Seuil, Paris.
- Nagashima, Yorikiyo (2013) *Elementary Particle Physics: Foundations of the Standard Model*, Volume 2, Wiley, New York.
- Oriti, Daniele (ed.) (2009) *Approaches to Quantum Gravity. Toward a New Understanding of Space, Time and Matter*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Poincaré, Henri (1890) 'Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique. Divergence des séries de M. Lindstedt', *Acta Mathematica*, 13 (1–2), pp. 1–270.
- Porus, Vladimir N. (2018) 'Contextualism in the philosophy of science', *Epistemology and Philosophy of Science*, vol. 55, no. 2, pp. 75–93 (in Russian).
- Schulman, Lawrence S. (1978) 'Note on the quantum recurrence theorem', *Physical Review A*, 18 (5), pp. 2379–2380.
- Schwartz, Matthew D. (2013) *Quantum Field Theory and the Standard Model*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Sevalnikov, Andrew Yu. 'Time in Quantum Theory', *Metafizika*, no.1 (27), pp. 73–77 (in Russian).
- Smolin, Lee (2013) *Time Reborn: From the Crisis in Physics to the Future of the Universe*, Houghton Mifflin Harcourt, Boston.
- Susskind, Leonard (1995) 'The World as a Hologram', *Journal of Mathematical Physics*, Vol. 36, No. 11, pp. 6377–6396.
- 't Hooft, Gerard (1993) 'Dimensional Reduction in Quantum Gravity', 1993 [<https://arxiv.org/pdf/gr-qc/9310026v2.pdf>].
- Frignanni, Vincent (ed.) (2012) *Classical and Quantum Gravity: Theory, Analysis and Applications (Physics Research and Technology)*, Nova Science Pub Inc., New York.
- Vladimirov, Yuri S. (2014) *The Nature of Space and Time*, URSS, Moscow (in Russian).
- Wheeler, John A., Zurek, Wojciech H. (eds.) (2014) *Quantum Theory and Measurement*, Princeton University Press, Princeton.
- Witten, Edward (1995) 'String theory dynamics in various dimensions', *Nuclear Physics B*, Vol. 443, No. 1, pp. 85–126.
- Yau, Shing-Tung, Nadis, Steve (2010) *The Shape of Inner Space: String Theory and the Geometry of the Universe's Hidden Dimensions*, Basic Books, New York.