

Комментарий на «Квантовое решение дилеммы стрелы времени»

Олег Купервассер
Transist Video LLC
119296 Skolkovo, Russia

Scientific Research Computer Center
Moscow State University
119992 Moscow, Russia

E-Mail: olegkup@yahoo.com

**PACS numbers: 03.65.Ta, 03.67.-a, 05.70.Ce, 05.20.Gg,
05.45.Jn**

Недавняя статья *Massone* представляет решение дилеммы стрелы времени, основанное на существующих законах квантовой механики. В статье утверждается, что все явления, где энтропия уменьшается, не должны оставлять информацию в памяти наблюдателя о том, что они случались. При этом наблюдатель является частью всей системы. В статье также полагается, что квантовая механика необходима для этого аргумента, который, как полагает автор, не работает в классической механике. Этот комментарий состоит из четырех частей. Мы обсуждаем основные задачи в первой части. Здесь и в ранее изданном комментарии *Jennings* и *Rudolph* описываются недостатки в аргументах *Massone*. Тем не менее, главный аргумент (стирание памяти наблюдателя) ранее сформулированный в наших работах и повторенный *Massone* является верным при условиях, описанных в нашем комментарии. Кроме того, этот аргумент может использоваться для того, чтобы решить парадокс редукции (парадокс Шредингерского Кота) в квантовой механике. Это продемонстрировано во второй части. В третьей части обсуждена синхронизация стрел времени (декогеренция). В четвертой части рассматривается синхронизация стрел времени (декогеренция) в релятивистской и квантовой гравитации.

Ключевые слова: Термодинамическая Стрела Времени, Энтропия, Шредингерский Кот, Наблюдаемая Динамика, Идеальная Динамика, Непредсказуемая Динамика, Синхронизация Стрел Времени

Часть 1. Макроскопическая энтропия, закон увеличения энтропии и аргумент о стирании памяти наблюдателя

Релевантность аргумента о стирании памяти наблюдателя для классической механики

Недавняя статья *Massone* [1] представляет решение дилеммы стрелы времени, основанное на существующих законах квантовой механики. В статье утверждается, что все явления, где энтропия уменьшается, не должны оставлять информацию в памяти наблюдателя о том, что они случались. При этом наблюдатель является частью всей системы. В статье также полагается, что квантовая механика необходима для этого аргумента, который, как полагает автор, не работает в классической механике (КМ). Однако в статьях [2-4] показано, что тот же самый аргумент имеет силу как для квантовой, так и для классической механики. Там используются мысленные эксперименты как Лошмидта (парадокс обращения

времени), так и Пуанкаре (теорема возвращения), чтобы проиллюстрировать дилемму стрелы времени. В то же время, *Massone* использует только один Лошмидта парадокс, хотя в дальнейшем дает математическое доказательство для общего случая уменьшения энтропии.

Аргументы, приводящие к решению обоих парадоксов в классической механике, являются следующими. Классическая механика позволяет, по крайней мере в принципе, исключить любой эффект воздействия наблюдателя на наблюдаемую систему. Однако, большинство реальных систем являются *хаотическими*. Это значит, что слабое возмущение может привести к экспоненциальной расходимости траекторий. Также, между системами всегда есть незначительное взаимодействие. Позвольте привести простой пример газа, расширяющегося из небольшой области пространства в большой объем. В этом процессе с ростом энтропии эволюция макроскопических параметров устойчива к небольшим внешним возмущениям. Если после некоторого времени все скорости будут обращены, то газ вернется в небольшой стартовый объем; причём это верно только в отсутствии внешнего возмущения. Этот процесс с уменьшением энтропии явно неустойчив, и небольшое внешнее возмущение вызвало бы непрерывный рост энтропии. Таким образом, процессы с ростом энтропии устойчивы, а с уменьшением энтропии - нет. Более строгая теория была разработана для общего случая в работах [2-4]. Естественное следствие сказанного - то, что стрелы времени наблюдателя и наблюдаемой системы (чья направления определены ростом энтропии) синхронизированы из-за неизбежного незначительного взаимодействия между ними. Они могут возвратиться к начальному состоянию только вместе (как целая система) как в парадоксе Лошмидта, так и в парадоксе Пуанкаре. Таким образом, память наблюдателя оказывается стертой в конце. При приближении к этой точке, стрела времени наблюдателя и наблюдаемой системы направлена противоположно координатному (абсолютному) времени. Значит, рост энтропии происходит относительно собственной стрелы времени наблюдателя в полной системе, так же как в ее двух частях, хотя энтропия уменьшается в абсолютном времени.

Закон роста энтропии – как ВВПЦ (во всех практических целях) закон как в классической, так и в квантовой механике

Важно отметить, что ненаблюдательность уменьшения энтропии правильна только для *практических* экспериментов в квантовой механике. Она связана с возмущением измеряемой системы, возникающем в эксперименте. Для идеального невозмущенного наблюдения и термодинамически правильного определения энтропии системы, энтропийное уменьшение может в *принципе* наблюдаться в рамках квантовой механики.

Позвольте нам, во-первых, определить невозмущенное наблюдение [2-4] в квантовой механике. Предположим, у нас есть некоторая квантовая система в известном начальном состоянии. Это начальное состояние может быть либо результатом некоторой подготовки (например, атом переходит в основное электронное состояние в вакууме в течение долгого времени), либо результатом измерительного эксперимента (квантовая система после измерения находится в чистом состоянии, соответствующем собственной функции измеренной переменной). Мы можем предсказать дальнейшую эволюцию начальной волновой функции. Поэтому, в *принципе* мы можем сделать дальнейшие измерения, выбирая измеренные переменные таким способом, чтобы одна из ее собственных функций соответствовала текущей волновой функции наблюдаемой системы. Такой измерительный процесс может позволить нам непрерывное наблюдение без возмущения наблюдаемой квантовой системы. Это невозмущенное наблюдение может быть легко обобщено на случай известного *смешанного* начального состояния.

Например, позвольте нам рассматривать некоторый квантовый компьютер (КК). У него есть некоторое четкое начальное состояние. Наблюдатель, которому известно это начальное состояние может, в *принципе*, произвести невозмущенное наблюдение за любым

промежуточным состоянием КК. Однако, наблюдатель, который не знает начальное состояние, не может сделать такое наблюдение, потому что он не может предсказать промежуточное состояние КК.

Мы можем заключить, что закон об увеличении энтропии - *ВВПЦ* (во всех практических целях) *закон*. Это правильно для *возмущающего* наблюдения за макроскопическими квантовыми системами и классическими макроскопическими хаотическими системами из-за стирания памяти наблюдателя. Такое небольшое возмущение существует в любой реальной ситуации. Однако, в общем случае это не правильно.

Правильное определение термодинамической энтропии в парадоксе Лошмидта.

Цель статьи Массоне состояла в том, чтобы разрешить парадокс Лошмидта, возникающим из-за противоречия между вторым законом термодинамики и обратимостью движения. Поэтому, должно быть выбрано термодинамически правильное определение энтропии, которое действительно используется в формулировке второго закона. Позвольте нам дать такое определение энтропии. Два различных определения энтропии могут быть даны: *макроскопический* энтропии и энтропии ансамбля [2-4]. Макроскопическая энтропия - функция макроскопических параметров, которую мы находим, беря все микросостояния, которые соответствуют текущему макросостоянию. С другой стороны, энтропия ансамбля вычисляется для *некоторого* множества микросостояний, эволюционирующих во времени из начального состояния ансамбля. Наконец, стандартная формула для энтропии (Неймановская или для классической механики) по полученному распределению используется. Второй закон термодинамики (об увеличении энтропии) использует определение макроскопическое энтропии.

Массоне определяет энтропию системы как сумму энтропий ансамбля для наблюдателя и наблюдаемой системы ($S(A \text{ и } C) \equiv S(\rho_A) + S(\rho_C)$). Для случая возмущающего квантового наблюдения за макроскопической системой его определение энтропии эквивалентно макроскопической энтропии, потому что и наблюдатель и наблюдаемая система находятся в смешанных состояниях и коррелируют через макроскопические переменные. Классические аналоги, которые использовал Массоне, чтобы доказать необходимость квантовой механики для доказательства роста энтропии, являются неправильными. В его формуле для смешанной энтропии $S(A:C) \equiv S(\rho_A) + S(\rho_C) - S(\rho_{AC})$ должна была использоваться *макроскопическая* энтропия подсистем как для квантовой, так и для классической механики, а не энтропия ансамбля. В противоположность классической механике, в квантовой механике как макроскопическая энтропия, так и энтропии множества имеют то же самое числовое значение для возмущающего квантового наблюдения, хотя их определения отличаются. Для классических макроскопических хаотических систем (наблюдатель и наблюдаемая система), даже при небольшом взаимодействии между ними, также могут использоваться энтропия ансамбля. Однако, по крайней мере, *начальные состояния* этих двух систем должны быть вычислены от макроскопических параметров, беря *все* микросостояния, им соответствующие.

Однако, в общем случае как в классической, так и в квантовой механике (например, невозмущающее наблюдение), такое определение термодинамической энтропии системы не верно. Действительно, позвольте нам взять простой пример газа, расширяющегося из небольшой области пространства в большой объем. Это -

макроскопический процесс с увеличением энтропии. Мы должны использовать термодинамически корректную *макроскопическую* энтропию идеального газа: $S = kN \ln V + \text{const}$ ($T = \text{const}$). Из-за теоремы Пуанкаре о возвратах газ должен вернуться очень близко к стартовому небольшому объему после долгого времени в отсутствие внешнего возмущения. Это - макроскопический процесс уменьшением энтропии. Энтропия ансамбля газа не изменяется во время этой эволюции в отличие от макроскопической энтропии. Предположим, что мы знаем квантовое начальное состояние этого газа, таким образом, *в принципе* мы можем сделать невозмущенное наблюдение описанным выше способом. Поэтому, мы будем в состоянии наблюдать как и увеличение энтропии в начале, так и уменьшение энтропии в конце. Это противоречит к главному заключению статьи Массоне. Однако, рассмотрение Массоне и его заключения верны для *практического случая возмущающего квантового* наблюдения за макроскопической системой. В этом случае, мы используем *фиксированное* множество макроскопических переменных для наблюдения. Это множество не зависит от начального состояния (в противоположность случаю невозмущенного наблюдения, описанного выше).

Мы не находим ошибок в рассмотрении энтропии Массоне в рамках квантовой механики для возмущенного наблюдения за макроскопическими системами. В противоположность этому, D. Jennings, T. Rudolph [5] находят возражение для этого определения энтропии. Однако, возражение D. Jennings, T. Rudolph не релевантно [6], поскольку мы рассматриваем макроскопические системы. В то время как примеры D. Jennings и T. Rudolph соответствуют микроскопическим системам.

Часть 2. Парадокс Шредингерского кота и спонтанная редукция.

Полное нарушение принципа суперпозиций волн (то есть полное обращение в нуль интерференционных членов) и редукция волновой функции возможны только во время взаимодействия квантовой системы с идеальным макроскопическим объектом или устройством. Идеальный макроскопический объект или имеет бесконечный объем, или состоит из бесконечного числа частиц. Такой идеальный макроскопический объект может быть последовательно описан как квантой, так и классической механикой.

Далее, (если иное не оговаривается) мы рассматриваем, как и в классическом случае, только системы с конечным объемом с конечным числом частиц. Такие устройства или объекты можно рассмотреть как макроскопические только приблизительно.

Однако, реальной эксперимент показывает, что даже для таких неидеальных макроскопических объектов разрушение суперпозиции и соответствующая редукция волновой функции могут произойти. Мы определим такое приведение несовершенных макроскопических объектов как *спонтанная редукция*. Спонтанная редукция приводит к парадоксам, которые вызывают сомнения в замкнутости квантовой механики, несмотря на все ее огромные успехи. Мы приведем самый выразительный парадокс из этого ряда - парадокс Шредингерского Кота.

Это - мысленный эксперимент, который проясняет редукцию волновой функции и принцип суперпозиции. Кот помещен в ящик. За исключением Кота, есть капсула с ядовитым газом (или бомба) в ящике, которая может взорваться с 50-процентной вероятностью из-за радиоактивного распада атома плутония или случайно излученного светового кванта. Через некоторое время, ящик открывается, и становится ясным, жив Кот или нет.

Пока ящик не открыт (измерение не выполнено), Кот находится в очень странной суперпозиции двух состояний: "живой" и "мертвый" Кот. Для макрообъектов такая ситуация выглядит очень таинственной (В противоположность этому, для квантовых частиц суперпозиция двух различных состояний является очень естественной). Однако, нет принципиального запрета на квантовую суперпозицию макросостояний.

Редукция этих состояний при открытии ящика внешним

наблюдателем, не приводит ни к какому противоречию с квантовой механикой. Это легко объясняется взаимодействием внешнего наблюдателя с Котом во время измерения его состояния.

Однако, парадокс возникает в закрытом ящике, когда наблюдатель - сам Кот непосредственно. Действительно, Кот обладает сознанием и способен наблюдать как непосредственно себя, так и свое окружение. При реальном самонаблюдении, Кот не может быть одновременно и жив и мертв, он находится только в одном из этих двух состояний. Опыт показывает, что любые существа, обладающие сознанием, ощущают себя либо живыми, либо мертвыми. Одновременно обе такие ситуации не существуют. Поэтому спонтанная редукция к одному из двух возможных состояний (живой и мертвый) действительно происходит. Кот, даже вместе со всем содержанием ящика, - не *идеальный* макроскопический объект. Поэтому, такая наблюдаемая необратимая спонтанная редукция противоречит к обратимой Шредингеровской квантовой динамике. В описываемом случае это нельзя объяснить неким внешним влиянием, потому что система изолирована.

Противоречит ли редукция на самом деле Шредингеровской квантовой динамике? Когда система становится достаточно макроскопической, чтобы обеспечить возможность для спонтанной редукции? Должна ли такая почти макроскопическая система иметь сознание подобно Коту?

Мультимировая интерпретация также не объясняет парадокс Шредингеровского Кота, эта интерпретация только переформулирует и маскирует парадокс. Действительно, Кот наблюдает только один из существующих миров. Однако, результаты будущих измерений зависят и от корреляций между мирами. Однако, ни эти миры, ни эти корреляции не наблюдаемы. "Параллельные миры», о котором мы не знаем ничего, могут всегда существовать. И эти миры могут действительно влиять на результаты некоторых будущих экспериментов. То есть знание текущего состояния только (в нашем "мире") и квантовые законы механики не позволяют нам предсказывать будущее даже вероятно! Однако, квантовая механика была создана именно для таких предсказаний! Только на основании спонтанной редукции, которая уничтожает квантовые корреляции между мирами, мы можем предсказать будущее, используя знание только настоящего (и действительно наблюдаемого) состояния нашего "мира". Парадокс Шредингеровского Кота возвращается, но только меняет свою форму.

Позвольте напоминать, что парадокс Кота Шредингера состоит в несогласованности между спонтанной редукцией, наблюдаемой Котом и эволюцией Шредингера, запрещающей такую редукцию. Необходимо рассмотреть парадокс Кота Шредингера с точки зрения двух наблюдателей, чтобы понять его правильно: это или внешний наблюдатель - экспериментатор, или сам Кот (то есть, *самонаблюдение*)

В случае внешнего наблюдателя-экспериментатора, парадокса не возникает. Если экспериментатор попытается увидеть, жив ли Кот или нет, это повлияет неизбежно на наблюдаемую систему (в согласии с квантовой механикой), что приведет к редукции. Система не изолирована и, следовательно, не может быть описана уравнением Шредингера. Редуцирующая роль наблюдателя может также играть окружающая среда вместо наблюдателя. Этот случай определен как

декогеренция. Здесь роль наблюдателя более естественна и сводится только к регистрации редукции, полученной из-за декогеренцией. В обоих случаях, существует запутывание измеряемой системы с окружающей средой и/или наблюдателем, то есть, возникают корреляции измеряемой системы с окружающей средой и/или наблюдателем.

Что случится, если мы рассматриваем замкнутую полную физическую систему, включающую наблюдателя, наблюдаемую систему и окружающую среду? Это - случай самонаблюдения Кота. Система включает Кота и его окружающую среду в ящике. Следует отметить, что *полное самонаблюдение (полное в смысле квантовой механики) и полная проверка квантовых законов механики невозможны в изолированной системе, включающей самого наблюдателя.* Действительно, мы можем точно измерить и проанализировать состояние внешней системы, по крайней мере, в принципе. Однако, если мы включаем себя также в рассмотрение, возникают естественные ограничения. Это имело отношение с возможностью держать в памяти и анализировать состояния молекул посредством этих же самих молекул. Такое предположение ведет к несоответствию. Поэтому, возможность найти экспериментально несоответствие между эволюцией Шредингера и спонтанной редукцией с помощью самонаблюдения в изолированной системе также ограничена.

Тем не менее, позвольте нам попробовать найти некоторые мысленный эксперименты, ведущие к несогласованности между эволюцией Шредингера и спонтанной редукцией.

- 1) Первый пример связан с обратимостью квантовой эволюции. Предположим, что мы ввели функцию Гамильтона, способную полностью обратить квантовую эволюцию полной системы - ящика и Кота. Хотя фактически это почти невозможно, теоретически никакой проблемы не существует. Если бы спонтанная редукция происходила, процесс был бы необратим. Если спонтанная редукция не происходит, система "ящик и Кот" возвращается к начальному чистому состоянию. Однако, только внешний наблюдатель может делать такую проверку. Кот не может сделать ее самонаблюдением, потому что память Кота будет стерта после возвращения в начальное состояние. С точки зрения внешнего наблюдателя, никакого парадокса и не существует, потому что он не наблюдает спонтанную редукцию, которая действительно может вести к парадоксу.
- 2) Второй пример связан с неизбежными возвратами Пуанкаре квантовой системы к начальному состоянию. Предположим, что начальное состояние было чистое. Если спонтанная редукция действительно существует в случае самонаблюдения Кота, она приводит к смешанному состоянию. Тогда возврат становится уже невозможен - смешанное состояние не может перейти в чистое состояние согласно уравнениям Шредингера. Таким образом, если бы Кот смог детектировать возврат, это привело бы к несогласованности со спонтанной редукцией. Однако, Кот не может детектировать возврат (в случае верности квантовой механики), потому что возвращение сотрет память Кота. Поэтому, нет и никакого парадокса. Внешний наблюдатель фактически может наблюдать это возврат, измеряя начальное и конечное состояние этой системы. Однако, в этом случае также никакого парадокса уже не существует, потому что он не наблюдает никакой спонтанной редукции, которая действительно может вести к парадоксу. Стоит обратить внимание, что несогласованность между спонтанной редукцией и эволюцией Шредингера может быть экспериментально зарегистрирована только, когда спонтанная редукция сохранена в памяти наблюдателя, и эта память не стерта и не повреждена. Никакие эксперименты, описанные выше не отвечают этим требованиям. Таким образом, эти примеры ясно показывают, что, хотя спонтанная редукция действительно может вести к нарушению эволюции Шредингера, это редукция экспериментально не наблюдаема (в случае верности квантовой механики).

3) Третий пример следующий. Квантовая механика дает суперпозицию живого и мертвого Кота в ящике. Теоретически, внешний наблюдатель мог всегда измерять эту суперпозицию *точно*, если она является одной из собственных функций измеряемой величины. Такое измерение не уничтожило бы суперпозицию, вопреки случаю, когда состояния живой или мертвый Кот являются собственными функциями измеряемой величины. Сообщив Коту о результате такого измерения, мы получим несогласованность со спонтанной редукцией, наблюдаемой Котом. Такая аргументация содержит двойную ошибку. *Во-первых*, этот эксперимент используется для проверки спонтанной редукции Кота, когда наблюдатель - сам Кот. Внешний наблюдатель не влияет на память Кота только, когда спонтанная редукция не присутствует, и состояние Кота - суперпозицию живого и мертвого состояний. Однако, это действительно влияет и может уничтожить память Кота в случае спонтанной редукции. Поэтому, такой эксперимент не законен для проверки спонтанной редукции в *прошлом*. *Во-вторых*, данные, переданные к Коту сохраняются в его памяти. Таким образом, эта передача изменяет и его состояние, и эволюцию Кота нельзя рассматривать уже как изолированную после измерения. Поэтому, никакого противоречия с *будущим* также не возникает.

Внешний наблюдатель не видит спонтанной редукции и, следовательно, не наблюдает парадокс. Таким образом, с точки зрения внешнего наблюдателя, проверка помощью непрерывного невозмущающего наблюдения, описанного в пункте 3, является весьма возможным и законным. Это не влияет на память внешнего наблюдателя. Кроме того, такая проверка, которая не нарушает динамику наблюдаемой системы, позволяет измерять не только начальное и заключительное состояние системы но также и всех промежуточные состояния. То есть, наблюдатель осуществляет непрерывное невозмущающее наблюдение!

Следует отметить, что внешний наблюдатель может наблюдать суперпозицию живого и мертвого Кота только теоретически. Фактически это почти невозможно. Однако, для маленьких квантовых систем, суперпозицию легко наблюдаема. Это объясняет тот факт, что квантовую механику рассматривают обычно как теорию маленьких систем. Однако, для маленькой макроскопической (мезоскопической) системы такое наблюдение возможно также. Набор частиц при низких температурах или некоторые состояния фотонов [7] могут быть примером. Позвольте сделать важное замечание: за последние годы были изданы очень интересные статьи в направлении строительства мезоскопических "синергетических" систем, возможно подобных в некоторых их свойствах живым организмам [1], [8], [9], [10]. Следует упомянуть, что создание таких моделей - проблема физики и математики, а не философии.

Часть 3. Синхронизация стрел времени/декогеренция

Следующий вопрос может появиться. Позвольте предположить, что происходит некоторый процесс, идущий с уменьшениями энтропии. Для определенности, позвольте выбрать в качестве этого процесса самореконструкцию дома, предварительно разрушенного землетрясением.

Позвольте также взять простой пример газа, расширяющегося из маленькой области пространства в большой объем. Если, после некоторого времени, все скорости полностью обращены, газ вернется в стартовом маленьком объеме.

Если мы включаем камеру, чтобы сделать ряд снимков во время обратных процессов, мы ожидаем, что камера будет делать запись процесса самореконструкции дома / (сокращение газа). Почему же камера не будет способна делать запись этого? Что может помешать камере сделать эти снимки?

Ответ эти вопросы следующий: даже очень небольшое взаимодействие между камерой и наблюдаемой системой разрушает обратный процесс, идущий с уменьшением энтропии и приводит к синхронизации направлений стрел времени наблюдателя и наблюдаемой системы. (Направление стрелы времени определено в направлении увеличения энтропии). Это очень небольшое взаимодействие появляется из-за света, излученного наблюдаемым объектом и отраженного камерой (и также из-за света, излученного камерой). В отсутствии камеры роль наблюдателя может играть окружающая среда, излучая и отражая свет. (У любого процесса без наблюдателя нет физического смысла. Наблюдатель должен появиться на некотором этапе любого процесса. Однако, его влияние намного меньше чем влияние окружающей среды). Внешний шум (взаимодействие) от окружающей среды/наблюдателя разрушает корреляции между молекулами наблюдаемой системы. Это приведет к предотвращению обратного процесса с уменьшением энтропии. В квантовой механике такой механизм определен как "декогеренция". Самореконструкция дома / (сжатие газа) будет остановлена, то есть, дом не восстановится / (газ не сожмется). Напротив, процессы с увеличением энтропии устойчивы.

Следующий пример - цитата из статьи Массоне [1]: "Однако, наблюдатель является макроскопическим по определению, и все удаленно взаимодействующие макроскопические системы становятся коррелированными очень быстро (например, Borel замечательно вычислил, что, перемещение грамма материала по звезде Сирус на 1 м. может влиять на траектории частиц в газе на Земле на временных рамках s [11])"

Однако, никакой проблемы не существует, чтобы полностью обратить вместе наблюдателя (камеру) и наблюдаемую систему. Из-за теоремы о возвратах Пуанкаре для замкнутой системы (включая наблюдателя и наблюдаемую систему), это должно случиться автоматически после очень большого промежутка времени. Однако, стирание памяти наблюдателя не позволяет ему зарегистрировать этот процесс.

Большинство реальных системы являются *хаотическими* - слабое возмущение может привести к экспоненциальной расходимости траекторий, и также всегда есть незначительное взаимодействие между наблюдаемой системой и наблюдателем/окружающей средой. Однако, *в принципе* как в квантовой механике, так и в классической механике мы можем осуществить невозмущенное наблюдение за процессом уменьшения энтропии. Хороший пример такого мезоскопического устройства - квантовый компьютер: никакой закон об увеличении энтропии не существует для такой системы. Это устройство очень хорошо изолировано от окружающей среды и наблюдателя. Однако, на *практике* невозмущенное наблюдение почти невозможно для микроскопических систем. Мы можем заключить, что закон об увеличении энтропии - *ВВПЦ* (во всех практических целях) *закон*.

Следует упомянуть, что декогеренция (синхронизация стрел времени и "запутывание") и релаксация (во время релаксации система достигает своего равновесия) являются абсолютно различными процессами. Во время релаксации, макроскопические переменные (энтропия, температура, давление) значительно изменяются, достигают равновесных значений и невидимые микроскопические корреляции между частями системы увеличиваются. Во время декогеренции макроскопические переменные (энтропия, температура, давление) являются почти постоянными. Невидимые микроскопические корреляции в подсистемах (окружающая среда, наблюдатель, и наблюдаемая система) сильно разрушены, но новые корреляции появляются

между подсистемами. Это называют "запутыванием" в квантовой механике. Во время этого процесса также происходит синхронизация стрел времени. Время релаксации намного больше, чем времени декогеренции.

Позвольте рассмотреть синхронизацию стрел времени для двух не взаимодействующих (до некоторого начального момента) систем. Следует упомянуть, что это описание сделано в абсолютной (координатной) системе. Однако, у обеих систем есть собственные первоначально противоположные стрелы времени также, которые определены как направление роста энтропии в каждой системе.

Это означает, что существуют две не взаимодействующие системы, такие что в одной из них поток времени (то есть, направление увеличения энтропии) направлен в одном направлении, в то время как в другой системе время течет в противоположном направлении. Однако, когда они входят во взаимодействие друг с другом, тогда одна из них ("более сильная") будет перетягивать другую ("более слабую") в его "более сильное" направление, так, чтобы в конечном счете они обе имели время, текущий в том же самом направлении.

"Быть более сильным" - что это значит? Это то, что увеличивается с числом степеней свободы системы? Нет, это не верно. "Более сильный" или "более слабый" не зависит значительно от числа степеней свободы систем (маленькие флуктуации являются исключением). Описанное выше взаимодействие асимметрично для абсолютного (координатного) времени. Для первой системы, взаимодействие появляется в ее будущем, начиная с начального момента (В начальный момент системы имеют противоположные стрелы времени) согласно собственному времени этой системы. Для второй же системы взаимодействие было в ее прошлом согласно ее собственному времени. Поэтому, ситуация не является симметричной во времени, и первая система всегда "более сильна". Это случается из-за неустойчивости процессов с уменьшением энтропии и стабильности процессов с увеличением энтропии, которые были описаны выше.

Действительно, позвольте нам снова рассмотреть два первоначально изолированных сосуда с газом. В первом, один газ расширяется (увеличение энтропии). Во втором, один газ сжимается (уменьшение энтропии).

В первом сосуде, газ расширяется из маленького объема в центре сосуда. Скорости молекул направлены от центра сосуда к его границе. Физически ясно, что маленькое возмущение скоростей не может остановить расширение газа. Действительно, скорости после случайного маленького возмущения продолжают быть направленными от центра сосуда к его границе. Шум может даже увеличить расширение. Поэтому, процесс расширения устойчив.

Во втором сосуде, газ сжимается от полного объема сосуда к его центру. Скорости всех молекул направлены к центру сосуда. Физически ясно, что маленькое случайное возмущение скоростей может легко остановить сжатие газа. Действительно, скорости даже после маленького возмущения не будут направлены к центру сосуда. Таким образом, процесс сжатия будет остановлен. Поэтому, мы можем заключить, что процесс сжатия неустойчив. Этот процесс сжатия может быть получен путем обращения во времени газового расширения. Если мы обращаем скорости молекул перед столкновениями молекул газа друг с другом и с границами сосуда, то такая неустойчивость будет линейна и не сильна. Однако, если сделать обращения скоростей после столкновений эта неустойчивость становится экспоненциальной и намного более сильной.

Оба направления времени равноправны. Однако, маленькое случайное шумовое взаимодействие нарушает эту симметрию для описанных выше двух систем из-за

неустойчивости процессов с уменьшением энтропии. Симметрия времени существует только для *полной* системы, включающей эти две, определенные выше подсистемы. Однако, собственные стрелы времени взаимодействующих подсистем должны стать сонаправленными.

Вместо взаимодействия с бесконечным временем $[0, +\infty]$ мы можем рассмотреть взаимодействие с большим, но конечным временем $T: [0, T]$. Позвольте нам выбирать на сей раз T так, чтобы оно было намного меньшим, чем время возвращения Пуанкаре. Тогда в первой системе мы имеем взаимодействие в течение $[0, T]$ согласно ее собственному времени и во втором в течение $[-T, 0]$ согласно ее собственному времени. Можем ли мы все еще применить наш аргумент? Вместо асимметрии сил в этом случае мы получаем асимметрию начальных условий: В начальный момент 0 для первой системы ($[0, T]$) эти два сосуда имеют различные собственные стрелы времени. Однако, в начальный момент $-T$ для второй системы $[-T, 0]$ эти два сосуда имеют одинаковые собственные стрелы времени в отрицательном направлении.

Только если T точно равен времени возвращения Пуанкаре, ситуация будет действительно симметричная. Для такой ситуации, две собственных стрелы времени также отличны в момент T , но каждая теперь противоположна ее первоначальному направлению в момент времени 0 . Снова, "более сильная" система имеет силы взаимодействия в ее будущем относительно ее собственной стрелы времени.

Эта теория может объяснить одинаковое направление роста энтропии во всех частях Вселенной. Однако, она не может объяснить низкую энтропию в начале существования Вселенной. Это - вероятно результат антропного принципа [12].

Часть 4. Закон увеличения энтропии и синхронизации стрел времени/ декогеренция в гравитационной теории.

Черные Дыры

В общей теории относительности Эйнштейна движение обратимо подобно к классической механике. Однако, также существует важное различие между общей теорией относительности и классической механикой. Общая теория относительности - неоднозначная теория. Действительно, в общей теории относительности два различных начальных состояния могут дать бесконечно мало близкие состояния после *конечного* временного интервала. Это случается, например, во время коллапса черной дыры. Позвольте нам рассмотреть обратный процесс, описывающий белую дыру. В этом процессе, бесконечно близкие начальные состояния за *конечный* временной интервал могут дать различные заключительные состояния. Это означает, что наблюдатель/окружающая среда может воздействовать значительно на ее развитие в течение *конечного* временного интервала, даже когда наблюдатель/окружающая среда бесконечно слабо взаимодействует с белой дырой. Следует упомянуть, что в гравитационной теории, произвольное маленькое, но конечное взаимодействие *всегда* существует в противоположность к обычной классической и квантовой механике. Силы гравитации всегда существуют между произвольными двумя объектами с массами, отличными от нуля.

Из-за этих двух свойств, закон увеличения энтропии становится точным законом, а не ВВПЦ (во всех практических целях) в общей теории относительности. Поэтому, энтропия становится фундаментальным понятием. Действительно, есть такое фундаментальное понятие, как энтропия черной дыры. Кроме того, возможно объяснить существование этой энтропии возмущением, созданным наблюдателем. Это возмущение может быть теперь даже бесконечно слабым в отличие от классической механики. В процессе формирования черной дыры происходит увеличение энтропии. Обращение времени ведет к появлению белых дыр и к уменьшению энтропии.

Белая дыра не может существовать в реальности из-за уменьшения энтропии. Уменьшение энтропии запрещено в общей теории относительности по тем же самым причинам, что это запрещено в классической механике. Это - неустойчивость процессов уменьшения энтропии, которая намного более сильная в общей теории относительности, чем в классической механике. Эта неустойчивость приводит к синхронизации собственных стрел времени белой дыры и наблюдателя/окружающей среды. Направление собственной стрелы времени белой дыры изменяется на противоположное, совпадающее с собственной стрелой времени наблюдателя/окружающей среды. Белая дыра преобразовывается в черную дыру.

Рассмотрим известный информационный парадокс черной дыры [13]: информация (которая в классической и квантовой механике сохраняется), исчезает в черной дыре навсегда. Казалось бы, нет никакой проблемы: вероятно информация сохраняется в черной дыре в некоторой форме. Однако, хаотическое излучение Хокинга делает явным этот процесс информационных потерь: черная дыра испаряется, но информация не возвращается.

Излучение Хокинга относится к полуклассической теории тяготения. Однако, парадокс может быть сформулирован также в рамках общей теории относительности. Сферическая черная дыра может быть обращена в белую дыру в некоторый момент времени. (Это кажется, что невозможно, но физически подобная ситуация с "кратовой норой", соединяющей черную и белую дыры в различных Вселенных рассматривается в [14]). Таким образом, процесс оказывается обращен. Однако, информация не может быть возвращена из-за неоднозначности (или, иначе говоря, бесконечно сильной неустойчивости) эволюции белой дыры. Обычно только два решения к этой проблеме рассматривают. Либо информация действительно исчезает, либо из-за внутренних корреляций излучения Хокинга (или точного обращения черной дыры после ее превращения в белую) информация сохраняется. Однако, наиболее вероятно, третье решение. Из-за неизбежного влияния наблюдателя/окружающей среды просто невозможно различить эти две ситуации экспериментально! Однако, если это невозможно проверить экспериментально, то это уже не предмет науки

Как для общей теории относительности, так и для полуклассического тяготения парадокс может быть решен посредством влияния наблюдателя/окружающей среды. Действительно, давайте нам предположить, что излучение Хокинга является коррелированным, а не хаотическим (или белая дыра является точной инверсией черной дыры). Таким образом, бесконечно малое влияние наблюдателя/окружающей среды ведет к неизбежным потерям этих корреляций (и соответствующей информации) в течение конечного временного интервала. Бессмысленно включать наблюдателя в описываемую систему: полное самоописание и самоанализ не возможны. Информационный закон сохранения не может быть проверен экспериментально для такого случая, даже если он действительно верен.

На данный момент отсутствует общепризнанная теория квантового тяготения. Однако, для специального случая 5-мерного анти-де-Ситтеровского пространства этот парадокс, как полагают многие ученые, решен. Информация, как предполагается, сохраняется, потому что гипотеза о AdS/CFT дуальности, то есть гипотеза, что квантовое тяготение в 5-мерном анти-де-Ситтеровском пространстве (которое имеет отрицательный космологический член) математически эквивалентно

конформной полевой теории на 4 поверхностях этого мира. Это было проверено в некоторых специальных случаях, но не доказано еще в общем случае.

Предположим, что эта гипотеза действительно верна. На первый взгляд, это автоматически решает информационную проблему. По сути дела конформная полевая теория является унитарной. Если она является действительно дуальной квантовому тяготению, тогда и соответствующая квантовая теория тяготения унитарна также. Поэтому, информация в этом случае не теряется. Однако, мы предполагаем, что это не верно. Процесс формирования черной дыры и ее последующего испарения случается на *всей поверхности* анти-де-Ситтеровского пространства (описанного в соответствии с конформной квантовой теорией). Это пространство включает также наблюдателя/окружающую среду. Однако, наблюдатель не может точно знать свое начальное состояние и не может анализировать поведение системы и проверить унитарность, потому что он - часть этой системы! Так что его влиянием на систему нельзя пренебречь. Таким образом, экспериментальная проверка информационного парадокса снова становится невозможной!

Кратовые норы

Позвольте нам рассмотреть с точки зрения закона роста энтропии такой парадоксальный объект общей теории относительности, как кратовая нора [15]. Мы рассмотрим кратовую нору Morris -Thorne [16]. В соответствии с очень простой процедурой (мы помещаем один из входов кратовой норы на космический корабль, затем космический корабль с релятивистской скоростью движется по замкнутой петле, и возвращает вход в его первоначальное место) пространственная кратовая нора может быть преобразована во временную кратовую нору. После этого преобразования, кратовая нора может использоваться как машина времени, ведь к известному парадоксу дедушки. Как же этот парадокс может быть решен?

Для макроскопических кратовых нор, решение может быть найдено посредством закона роста энтропии. Реализация этого закона обеспечена неустойчивостью процессов, идущих с уменьшения энтропии, которая ведет к синхронизации стрел времени.

Действительно, пространственная кратовая нора не ведет к парадоксу. Если объект входит в один конец в некоторый момент времени, то он выходит из другого конца в некоторый более поздний момент времени. Таким образом, объект путешествует из начального низко-энтропийного окружения в будущее высоко-энтропийное окружение. В течение движения по кратовой норе, энтропия объекта также увеличивается. Таким образом, направления стрел времени объекта и окружающей среды одинаковы. Те же самые заключения верны для путешествия от прошлого к будущему в кратовой норе, пересекающей время.

Однако, при путешествии из будущего в прошлое, направления стрел времени объекта и окружающей среды будут уже противоположны. Действительно, объект путешествует начального высоко-энтропийного окружения в будущее низко-энтропийное окружение. Однако, его собственная энтропия и не уменьшается, а увеличивается! Поскольку мы говорили ранее, такой процесс неустойчив и будет предотвращен процессом синхронизации стрел времени.

Изначальная синхронизация кратовой норы с ее окружением происходит при возвращении конца кратовой норы к ее начальному состоянию при ее формировании.

Откуда берется окружающая среда внутри кратовой норы? Окружающая среда путешественника внутри кратовой норы - это радиация, полученная термодинамическим излучением массивных концов кратовой норы

"Свободная воля" позволяет нам инициировать только необратимые процессы с увеличением энтропии, но не с ее уменьшением. Таким образом, мы не можем послать объект из будущего в прошлое. Процесс синхронизации стрел времени (и соответствующий закон роста энтропии) запрещают начальные

условия, которые являются необходимыми для путешествия макроскопического объекта в прошлое (и реализацию условий для парадокса дедушки).

В статье [17] демонстрируется, что термодинамическая стрела времени не может всегда иметь ориентацию идентичную с координатной стрелой времени вдоль замкнутой временно-подобной кривой из-за закона роста энтропии. Описанный здесь процесс синхронизации стрел времени (связанный с бесконечно большой неустойчивостью и неоднозначностью процессов ус уменьшением энтропии) является тем *физический механизм*, который фактически гарантирует и эту невозможность и реализует закон роста энтропии вдоль этой же термодинамической стрелы времени.

Для микроскопических кротовых нор, ситуация абсолютно другая. Если начальные условия совместимы с путешествием в прошлое по кротовой норе, нет никаких причин, которые могут предотвратить это. Если некоторые малое (даже бесконечно малое) возмущение начальных условий ведет к несогласованности с существованием кротовой норы, она может всегда легко разрушаться [18]. Действительно, вспомним упомянутое выше свойство общей теории относительности - это ее бесконечно большая неустойчивость (неоднозначность). Это означает, что бесконечно-малое возмущение начальных условий может привести к конечному изменению итогового состояния в течение конечного времени!

Однако, это не может быть решением парадокса дедушки, который является макроскопическим, а не микроскопическим явлением.

Действительно, возможно предположить, что есть два процесса с противоположными направлениями стрелы времени: космонавт и окружающая его Вселенная. Космонавт путешествует по кротовой норе из будущей Вселенной к прошлой Вселенной. Однако, для собственного направления стрелы времени космонавта это будет путешествие из его прошлого в его будущее.

Для общей теории относительности ситуация, описанная выше невозможна даже в принципе в отличие от классической механики: даже бесконечно малое взаимодействие ведет к бесконечно большой неустойчивости (неоднозначности) процессов, идущих с уменьшением энтропии (в данном случае "процесс с уменьшением энтропии" является космонавтом, путешествующим из будущего в прошлое).

В общем случае, описанная выше несогласованность между макроскопическими начальными условиями может сопровождаться как уничтожением кротовой норы [18], так и сохранением кротовой норы, обращением стрелы времени космонавта и стиранием его памяти [17].

Фактически, с *очень высокой вероятностью* закон роста энтропии приводит к синхронизации стрел времени, соответствующей инверсия стрелы времени космонавта и стиранию его памяти. Это приводит с *очень высокой вероятностью* к стабильности первоначальной макроскопической пространственно-временной топологии (включающей набор кротовых нор) [17] и очень маленькой вероятности макроскопического разрушения кротовых нор.

Однако, с *очень маленькой вероятностью* синхронизация стрел времени может не произойти. Это - очень редкая крупномасштабная флуктуация. В этом случае, может произойти разрушение кротовой норы.

Позвольте сформулировать заключение: для *макроскопических процессов* неустойчивость процессов с уменьшением энтропии, гравитационное взаимодействие и соответствующая синхронизация стрел времени делают почти невозможным возникновение начальных условий,

несовместимых с существованием макроскопических кротовых нор. Эта неустойчивость предотвращает как разрушение макроскопических кротовых нор, так и путешествие макроскопического объекта в прошлое, ведущее к "парадоксу дедушки".

Наконец, мы видим замечательную ситуацию. Те же самые причины, который позволили нам решать парадокс редукции, парадоксы Лшмидта и Пуанкаре, позволяют также решить информационный парадокс черных дыр и парадокс дедушки для кротовых нор. Это замечательная универсальность!

Список литературы

- [1] Maccone L., "Quantum solution to the arrow-of-time dilemma", Phys Rev Lett., V. 103(8), p. 080401 (2009)
- [2] O. Kupervasser, "Base of nonlinear dynamics or Real Dynamics, Ideal Dynamics, Unpredictable Dynamics and "Schrodinger cat"", <http://arxiv.org/abs/nlin/0407033> (2004).
- [3] O. Kupervasser, "Foundations of Nonlinear Dynamics or Real Dynamics, Ideal Dynamics, Unpredictable Dynamics and the "Schrodinger's Cat Paradox"", <http://arxiv.org/abs/nlin/0508025> (2005).
- [4] O. Kupervasser, "The basic paradoxes of statistical classical physics and the quantum mechanics", <http://arxiv.org/abs/0911.2076> (2009).
- [5] D.Jennings, T. Rudolph, "Comment on "Quantum resolution to the arrow of time dilemma" ", <http://arxiv.org/abs/0909.1726> (2009)
- [6] O. Kupervasser, "Comment on "Entanglement and the Thermodynamic Arrow of Time" and Correct Reply on "Comment on "Quantum Solution to the Arrow-of-Time Dilemma" of David Jennings and Terry Rudolph", Frontiers in Science, V. 2(6), pp. 209-213 (2012)
- [7] Alexei Ourjountsev, Hyunseok Jeong, Rosa Tualle- Brouri , Philippe Grangier, "Generation of optical "Schrodinger cats" from photon number states", Nature, V. 448, pp. 784-786 (2007)
- [8] George Musser, "Easy Go, Easy Come" ("How Noise Can Help Quantum Entanglement"), Scientific American Magazine, November 2009, http://www.scientificamerican.com/sciammag/?_content=2009-11
- [9] Michael Moyer, "Chlorophyll Power." ("Quantum Entanglement, Photosynthesis and Better Solar Cells"), Scientific American Magazine, September 2009, <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=quantum-entanglement-and-photo>
- [10] Jianming Cai, Sandu Popescu and Hans J. Briegel "Dynamic entanglement in oscillating molecules and potential biological implications", Phys. Rev. E, V. 82, p. 02121 (2010), <http://arxiv.org/abs/0809.4906>
- [11] E. Borel, *Le Hasard*, Alcan, Paris, (1914)
- [12] Hogan J., "Why the Universe is Just So", Rev.Mod.Phys., V. 72 (2000) (<http://arxiv.org/abs/astro-ph/9909295>)
- [13] Black hole information paradox - Wikipedia, the free encyclopedia http://en.wikipedia.org/wiki/Black_hole_information_paradox
- [14] Nikodem J. Poplawski "Radial motion into an Einstein-Rosen bridge", Physics Letters B, V. 687, pp.110-113 (2010)
- [15] Joaquin P. Noyola, "Relativity and Wormholes" (2006) http://www.uta.edu/physics/main/resources/ug_seminars/papers/Relativity_andWormholes.doc

[16] M. Morris and K. Thorne. "Wormholes in spacetime and their use for interstellar travel: A tool for teaching general relativity." Am. J. Phys., V. 56, pp. 395-412 (1988)

[17] Hrvoje Nikolic, "Causal paradoxes: a conflict between relativity and the arrow of time", Foundations of Physics Letters, V.19 (3), pp. 259-267 (2006)

[18] S. V. Krasnikov, "The time travel paradox", Phys.Rev. D, V. 65 (2002) <http://arxiv.org/abs/gr-qc/0109029>