

Эксперимент Moreva et al. и реляционно-квантовая гипотеза

Реляционно-квантовая гипотеза (РК-гипотеза) утверждает, что в основе пространства и времени лежат квантовые корреляции между подсистемами, а не заранее заданный континуум. Физические события отождествляются с корреляциями (энтэнглментом) между квантовыми системами, а геометрия пространства-времени выходит на фоне этих корреляций ¹ ². В частности, «время – это корреляции между подсистемами, одна из которых играет роль часов» ³. Следовательно, **релкв-гипотеза** отрицает существование внешнего времени и пустого пространства: для отсчёта временного параметра выбирается «подсистема-часов», а эволюция остальных частиц определяется через изменения состояния этих часов ⁴. Эта точка зрения лежит в основе механизма Пейдж-Вутерса (PaW), реализованного в эксперименте Moreva et al. (2013) ⁵ ⁶. Ниже показано, как экспериментальное устройство Moreva et al. соотносится с ключевыми постулатами РК-гипотезы.

Основные положения РК-гипотезы

- **Отсутствие предзаданной геометрии.** В РК-гипотезе пространство-время **вытекает** из сети квантовых узлов и связей: узлы представляют локальные квантовые состояния, а ребра – величину их корреляции (энтэнглмента) ². Метрика пространства определяется через веса этих связей, например, $d_{ij} = -\ln w_{ij}$ ². Таким образом, «нет пустого пространства»; нет внешних координат – расстояния и «радианы» возникают из корреляционного графа. (См. также «события – это квантовые корреляции» ¹.)
- **Реляционный характер времени.** Время в РК-гипотезе не вводится как внешняя переменная, а **порождается корреляцией** между подсистемами. Выделяется особая подсистема-«часы» $\$C$; эволюция других систем $\$R$ измеряется относительно состояния этих часов. Формально глобальное волновое состояние $\$|\Psi\rangle$ берёт вид собственника полного гамильтонiana $\$H|\Psi\rangle$ (аналог уравнения Вилера-Девайта) ⁷. Проекция на состояние часов $\$|\phi(t)\rangle$ $C=e^{-iH_C t/\hbar}$ $|\phi(0)\rangle$ даёт условное состояние системы: $\$|\psi_R(t)\rangle = \langle \phi(t)|C|\Psi\rangle = e^{-iH_R t/\hbar} |\psi_R(0)\rangle$. Это уравнение PaW показывает, что для «внутреннего» наблюдателя, синхронизованного с часами, подсистема $\$R$ эволюционирует по обычному уравнению Шрёдингера с собственным гамильтонианом $\$H_R$ ⁶. Таким образом, **прирост реляционного времени** $\$d\tau$ задаётся расстоянием Фубини–Штайна между соседними состояниями часов на единичной сфере Гильберта: $\$d(\langle \phi | \phi' \rangle) = \arccos |\langle \phi | \phi' \rangle|$, $\$$ и время как таковое определяется только через изменение квантового состояния часов (нет никакого внешнего параметра t) ⁴ ⁸.
- **Наблюдатель внутри системы.** По РК-гипотезе наблюдатель сам является подсистемой, и его показания времени получаются из корреляций. В эксперименте Moreva et al. два фотона запутаны поляризационно, и один фотон выбран в роли «часов», второй – как «система» ⁹. Тогда «внутренний наблюдатель», измеряющий второй фотон относительно первого, фиксирует его динамику (поляризация «система» меняется во времени), тогда как «внешний наблюдатель», видящий только весь связанный фотонный дуэт, обнаруживает

глобально стационарное состояние [9](#) [6](#). Это точно соответствует РК-модели: внешнее время отсутствует, а только внутренняя связь часов и системы проявляет ощущение течения времени.

- **Энтанглемент как основа событий.** В РК-гипотезе фундаментальными объектами являются **корреляции** (энтэнгмент), а не отдельные частицы в пространстве [1](#) [2](#). Эксперимент реализует именно такую ситуацию: базовое состояние – это статическое запутанное состояние двух фотонов. Эти корреляции отвечают за возникновение «события» течения времени. Иными словами, в духе РК, «изменение» системы $\$R\$$ наблюдается лишь благодаря её корреляции с часами $\$C\$$, а не из-за какого-либо внешнего фактора.
- **Нет внешнего времени.** В экспериментах PaW (и Moreva et al.) глобальное состояние удовлетворяет $\$H|\Psi\rangle=0\$$, то есть **полная система невременная**. Внешний параметр времени здесь отсутствует; «антисимметрия» векторов проекции на состояние часов воспроизводит нормальную динамику подсистемы. Таким образом, эксперимент демонстрирует утверждение РК, что единственное «время» возникает внутри системы и относительно часов [4](#) [7](#).

Сопоставление с экспериментом Moreva et al.

Ниже перечислены основные соответствия постулатам РК-гипотезы и фактической модели Moreva et al.:

- **Реляционное время и «часы».** В РК-гипотезе вводится подсистема-«часы» $\$C\$$, и её состояния отслеживаются с помощью метрики Фубини-Штайна [4](#). Экспериментально один фотон служит такими «часами» – его поляризация периодически изменяется (через кварцевую пластину) [9](#). Условная проекция (см. уравнение (1)) показывает, что другой фотон $\$R\$$ эволюционирует по своему уравнению Шредингера, где «время» определяется счётом состояний фотона-часов [6](#). Фактически, если обозначить два состояния часов как $\$|\phi(0)\rangle_C\$$ и $\$|\phi(t)\rangle_C\$$, то расстояние ФС между ними $\$d_{FS}(|\phi(0)\rangle_C, |\phi(t)\rangle_C)\$$ задаёт приращение времени $\$t\$$ между замерами. Таким образом, эксперимент воплощает принцип РК, что *время есть внутренний параметр, вытекающий из квантовых корреляций подсистем* [3](#) [4](#).
- **Статичность глобального состояния.** Согласно РК, внешнее время в уравнении Вселенной равно нулю ($\$H|\Psi\rangle=0\$$), поэтому вся система «заморожена» для внешнего наблюдателя [7](#). Эксперимент подтверждает это: полный двухфотонный вектор состояния готовят как собственное состояние суммы локальных гамильтонианов, то есть $\$H_C \otimes H_R\$$ имеет нулевую сумму энергий [6](#). Внешний наблюдатель, рассматривающий глобальную систему (двух фотонов), действительно не обнаруживает ни малейшего изменения с течением «мирового» времени. Только при условном анализе относительно одного из фотонов (внутреннем наблюдателе) проявляется эволюция другого.
- **Роль наблюдателя.** РК-гипотеза подчёркивает участие наблюдателя в процессе измерения событий. В эксперименте вводятся два «наблюдателя»: «внутренний», коррелированный с фотоном-часами, и «внешний», видящий только глобальную систему [9](#). Это демонстрирует, что наблюдатель, взаимодействующий с часами, видит динамику («время течёт»), тогда как идеальный супервнешний наблюдатель фиксирует статичность.

Такой дуализм соответствует реляционной идеи о том, что понятия времени и эволюции имеют смысл только внутри системы наблюдений 1 9 .

- **Графовая метрика (корреляционная геометрия).** В РК-гипотезе двумерный пример с двумя фотонами можно представить как простейший граф: два узла связаны ребром, вес которого отражает степень их запутанности. Метрика между этими узлами задаётся функцией от веса: например, $d_{ij} = -\ln w_{ij}$ 2 . Эксперимент напрямую не измеряет такую метрику, но концептуально система соответствует случаю топологически невырожденного графа – минимального пространства квантовых корреляций. Это согласуется с общим требованием РК, что «расстояния» между подсистемами определяются степенью их корреляции.

Основные формулы

Ниже приведены ключевые математические соотношения, связывающие эксперимент и РК-гипотезу:

- **Метрика Фубини–Штайна:** расстояние между квантовыми состояниями $|\psi\rangle, |\phi\rangle$ в проектном пространстве гильберта $d_{rm FS}(|\psi\rangle, |\phi\rangle) = \arccos |\langle \psi | \phi \rangle|$. В РК это расстояние используется для определения приращения реляционного времени между состояниями часов 4 .
- **Статичное глобальное состояние:** полный гамильтониан разбивается на части (часы и система) $H = H_C \otimes \mathbb{1} + \mathbb{1} \otimes H_R$ при условии $\langle H | \Psi \rangle = 0$ 6 . Это соответствует уравнению Вилера–Девайта, гарантирующему неподвижность глобального состояния без внешнего времени.
- **Уравнение Пейдж–Вуттерса (условная эволюция):** проекция глобального состояния на состояние часов даёт динамику системы: $|\psi_R(t)\rangle = e^{-iH_R t/\hbar} |\psi_R(0)\rangle$, $\langle \phi_C(t) | \Psi \rangle = e^{-iH_C t/\hbar} \langle \phi_C(0) | \Psi \rangle$ что повторяет результат уравнения (1) Moreva et al. 6 . Здесь $|\phi_C(t)\rangle = e^{-iH_C t/\hbar} |\phi_C(0)\rangle$ – состояние часов в «внутреннем» времени t .
- **Графовая метрика:** расстояние между двумя узлами графа (подсистемами) можно взять как логарифм корреляционного веса: $d_{ij} = -\ln w_{ij}$, где w_{ij} – мера запутанности между узлами i, j 2 . Для эксперимента i, j – два фотона, связь между ними – поляризационный энтангмент.

Обсуждение и выводы

Эксперимент Moreva et al. демонстрирует ключевую идею РК-гипотезы: **время оказывается эмерджентной внутренней величиной**, вытекающей из корреляций между подсистемами. Статическое запутанное состояние двух фотонов при проекции на одну из подсистем ведёт себя как динамическая система – воплощая механизм Пейдж–Вуттерса 6 . В этом смысле эксперимент подтверждает, что *реляционная часть РК-гипотезы, связанная с временем, имеет экспериментальное обоснование* (в духе PaW).

Однако стоит отметить и пределы соответствия. Эксперимент охватывает **только временную часть** гипотезы. Он не затрагивает пространственные или гравитационные аспекты РК-модели (кривизна графа, форман–Риччи и т.п.) 1 2 . Более того, модель ограничена идеализацией: два

фотона без взаимодействия, с точными квантовыми часами. В реальной РК-гипотезе ожидается более сложная сеть корреляций с непрерывным графом и взаимодействием. Тем не менее, Moreva et al. дали «мини-вселенную», в которой **подтверждается главное постулированное в РК**: отсутствие внешнего времени и появление времени через локальные корреляции 9 4 . Следовательно, эксперимент служит убедительным иллюстративным случаем для временной части реляционно-квантовой картины мира, тогда как расширение этой картины на пространство, гравитацию и макроскопические масштабы остаётся в рамках дальнейших исследований.

Источники: Реляционно-квантовая гипотеза 3 1 2 4 ; эксперимент Moreva et al. 9 7 6 (PaW-механизм в фотонном эксперименте).

1 2 4 8 DEEP_ANALYSIS_RQ_HYPOTHESIS.md
file://file_00000000bef0722f8f7179c7d5592c51

3 rq-theory.mhtml
file://file-QzcPJC9adqMjhzjHQEEF

5 6 7 9 1310.4691v1.pdf
file://file_00000001380722f86e4a251079b39a1