

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-128-136

EDN: YNFNZE

НАДО ЛИ МИРИТЬСЯ С ПАРАДОКСАЛЬНОСТЬЮ МИКРОМИРА?

В.Г. Кононов

Независимый эксперт

Российская Федерация, 305040, Курск, пр-кт Дружбы, д. 6

Аннотация. В статье показано, как можно без использования математического аппарата непротиворечиво изложить свойства квантового мира. Принято считать, что они несовместимы с логикой классической, макроскопической физики. Действительно, корпускулярно-волновой дуализм, магнитные импульсы, отрицательная энергия, нелокальность, запутанность и другие эффекты не вписываются в привычную картину мира. Однако всего одно допущение даёт ключ к пониманию большинства квантовых парадоксов. Если исходить из того, что в микромире реально и равноправно происходит движение как вперёд, так и вспять по времени, они находят простое объяснение, вполне совместимое с принципом причинности, законами сохранения и симметрии.

Ключевые слова: квантовые парадоксы, корпускулярно-волновой дуализм, интеграл по бесконечному множеству траекторий, Рязанов, обратимость, дальнодействие, вневременные транзакции, спиноры

1. Квантовые парадоксы

Афоризмы Нильса Бора о безумии истинных идей, неизбежности потрясения от квантовой теории и им подобные будоражат умы. Странная многомировая теория Хью Эверетта, доведённая до абсурда маститым физиком Дэвидом Дойчем в книге «Структура реальности» [1], вызывает здоровую научную злость и зовёт на бой. Но привычный мир отделён от простого объяснения квантовых эффектов высоким «потенциальным барьером» сложнейшей математики. Посвящённые, преодолев его, зачастую отказываются от здравого смысла макромира в пользу математических формализмов и рассуждают примерно так, как Джеймс Трефил: «Для себя я сформулировал следующий подход к квантово-механическим эффектам: как только „внутренний голос“ начинает твердить „такого не может быть!“, нужно спросить себя: „А почему бы и нет? Откуда мне знать, как всё на самом деле устроено внутри атома? Разве я сам туда заглядывал?“» [2. С. 298].

Разумеется, «заглянуть» внутрь атома никому ещё не удалось. Но разве для того, чтобы понять физическую логику происходящего, обязательно туда заглядывать? Математическая логика квантовой механики (КМ) содержит ряд «разрывов», таких, как правило Борна (заменившего плотность волны амплитудой вероятности нахождения частицы в точке) [3] и перенормировка,

которую Ричард Фейнман называл «дурацким приёмом», хотя и получил за неё Нобелевскую премию [4].

Ещё об одной особенности микромира Ю.С. Владимиров пишет: «Многие задаются вопросом, почему элементарные частицы описываются 2-компонентными спинорами, а не скалярами или векторами, как это принято в классической физике»? [5. С. 12]. О спинорах мало кто из «непосвящённых» хотя бы слышал, но для тех, кто имеет понятие о комплексно-сопряжённых пространствах, скажем, что это инструмент, позволяющий описать движение элементарных частиц, которые удобно представить принадлежащими таким образованиям. Можно, впрочем, пропустить далее то, что касается комплексно-сопряжённых пространств и спиноров, они лишь уточняют картину – скорее для математиков, чем для «физиков» и «лириков».

Фундаментальное уравнение КМ Эрвина Шрёдингера позволяет описать состояние микрообъекта (частицы или ансамбля частиц) в виде суперпозиции – совокупности всех решений уравнения. Одновременная их реализация, интерференция, как и другие проявления волновых свойств микрообъектов, объяснимы, если идентичных объектов много. Но экспериментально доказано, что эффекты сохраняются и для единичных частиц. Хотя это невероятно, невозможно, – волну, которая мыслима только как действие множества, «изображает» единичное! Но, зазубрив со школы формулу «корпускулярно-волновой дуализм» (масляное не масло), мы полагаем, что она что-то объясняет.

Не менее поразительно наблюдаемое прекращение проявления волновых свойств при измерении – мгновенный коллапс волновой функции или краткий, но всё же протяжённый во времени процесс декогеренции, нарушения связи между её (функции) ветвями. Эти явления, как и синхронное изменение свойств разнесённых в пространстве запутанных частиц, указывают ещё и на нарушение принципа локальности (близкодействия), невозможное в макромире.

2. Интерпретации квантовой механики

Классической интерпретацией КМ считается «копенгагенская», которая наряду с волновой функцией, задаваемой уравнением Шрёдингера, привлекает для описания состояния частиц понятие «измерение», уклоняясь от его определения. Сет Ллойд объясняет эффект измерения так: «Каждое взаимодействие с электроном, молекулой воздуха, частицей света локализует систему. Большие объекты взаимодействуют с большим количеством небольших объектов, каждый из которых получает информацию о местоположении большого объекта. Поэтому большие объекты, как правило, обнаруживаются или здесь, или там, но не здесь и там одновременно» [6. С. 125]. Отсюда понятно, почему неопределённость возможна только в микромире. Однако декогеренция связана с локализацией микрообъекта, а не большого тела. В двухщелевом эксперименте она происходит при прохождении электрона

возле датчика, но взаимодействие с краями щели и веществом преграды между щелями почему-то не прекращает интерференции.

Илья Пригожин [7] отмечал, что обратимость свойственна большинству физических законов. Но на протекание реальных процессов влияют сила трения и ей подобные, приводящие к росту энтропии. Они делают необратимым любой процесс, включающий статистически значимое повторение случайных событий. Фундаментальность понятия «стрела времени», за признание которой боролся Пригожин, он распространял и на квантовый уровень. Пока КМ рассматривает единичные события, они теоретически обратимы. Теоретически, поскольку для проверки обратимости нужны измерения, а они необратимы. Следовательно «...квантовая динамика может быть описана только на статистическом уровне» [7. С. 138]. И здесь кроется, возможно, главное противоречие КМ, изучать которую нельзя без разрушающих квантовые эффекты измерений и/или статистики. Где статистика, там и энтропия, поэтому Пригожин делал вывод, что и в микромире необратимость имеет преимущественное значение. Но недостаточно «искать только там, где светло». Физики стараются изучать и возможные сценарии реализации обратимости.

Так, Джон Уиллер и Роберт Фейнман разработали теорию поглощения [8], учитывающую решения уравнения Максвелла, соответствующие обратному движению во времени. Обычно такие решения отбрасывают как нарушающие принцип причинности: следствие не должно предшествовать своей причине. Но, исходя из симметрии времени, авторы предположили, что в точках излучения и поглощения образуются по две волны: запаздывающая, идущая в будущее, и опережающая, возвращающаяся в прошлое. Будучи согласованными по фазе, опережающие волны могут гасить друг друга до момента излучения, а запаздывающие – после поглощения. В интервале между излучением и поглощением фазы совпадают и волны (запаздывающая из точки излучения и опережающая из точки поглощения) складываются друг с другом, что вполне соответствует наблюдаемой картине.

Джон Крамер [9] построил на основе этой теории „транзакционную“ интерпретацию (ТКМ), в которой весь интервал между излучением и поглощением частицы рассматривается как единая вневременная транзакция. Её формирование описывается как «квантовое рукопожатие», при котором опережающая волна от приёмника встречается с запаздывающей волной от излучателя. Снимая некоторые проблемы копенгагенской интерпретации, ТКМ не объясняет воздействия измерения на квантовые процессы.

Если ТКМ, как и копенгагенская интерпретация, основана на уравнении Шрёдингера, то сам Фейнман ещё в 1942 году в своей докторской диссертации применил иной подход. Он предложил заменить описание траекторий в одной точке на полную сумму бесконечного множества всевозможных траекторий системы между началом и концом движения. Для этого он предположил [10], что амплитуда вероятности перехода микрообъекта из одного состояния в другое равна сумме комплексных слагаемых, соответствующих траекториям, соединяющим эти состояния, и определяется интегралом по их бесконечному множеству. Другое допущение Фейнмана, основанное на идее

Поля Дирака, позволяет записать в явном виде элементарные вклады траекторий в этот интеграл. Оно состоит в том, что модули вкладов равны между собой, а фазы определяются как классическое действие, то есть взятый вдоль траектории интеграл от функции Лагранжа по времени [10. С. 175]. Поэтому интеграл по бесконечному множеству ограничен по модулю и имеет фазу, определяемую в основном траекториями, на которых действие минимально: ведь чем больше действие, тем быстрее меняется фаза и сильнее интерферируют, гася друг друга, соседние траектории. Подход Фейнмана позволяет обобщить понятие волновой функции, не создавая иной, отличной от классической КМ теории. Анализ траекторий частиц приводит к тем же зависимостям, что и уравнение Шрёдингера [11].

В 1958 году советский физик Георгий Васильевич Рязанов (1930–2017) по-иному обобщил волновую функцию. Он предложил строить КМ как теорию случайных процессов на вещественном пространстве обратимых (знакопеременных во времени) траекторий [12]. Иначе говоря, его траектории, в отличие от комплексных траекторий Фейнмана, вещественны, но на некоторых их участках возможно движение вспять во времени.

Как Фейнман, так и Рязанов, описывают волновое по форме движение частиц бесконечным множеством траекторий, пронизывающих всё пространство. Но если траектории Фейнмана, как и волновая функция Шрёдингера, имеют действительную и мнимую компоненты, то Рязанов оставляет только действительную, но дополняет обратным движением во времени.

Последователь Рязанова Ю.А. Кухаренко обращает внимание на то, что существование стрелы времени, вдоль которой происходит эволюция системы, позволяет понять, почему в классической механике справедлив принцип наименьшего действия: «Всё дело в том, что система многократно обошла все пространство, побывала как в прошлом, так и в будущем, пройдя по всем траекториям, но вклад от всех траекторий, кроме единственной, классической, сократился. Существование принципа Гамильтона в классической физике является следствием квантово-механического принципа Рязанова» [13]. Принцип Гамильтона с тем же успехом был выведен Фейнманом, уже упомянутая докторская диссертация которого так и называлась «Принцип наименьшего действия в квантовой механике».

Введённые Рязановым постулаты обратимости времени и отрицательной вероятности позволяют построить квантовую теорию в вещественном пространстве и получить те же результаты, что и традиционная КМ. Но если у Фейнмана стрела времени только подразумевается, в принцип Рязанова она входит явно. Мировой процесс рассматривается им как совокупность транзакций систем между необратимыми событиями. Транзакции и сами становятся необратимыми, задавая стрелу времени, поскольку вследствие исходного излучения развивается случайный процесс, результат которого определяется статистически значимым повторением одной из возможных конфигураций траекторий. Сохранение адекватности описания без мнимой компоненты можно объяснить, если поставить в соответствие движению в прямом

и обратном времени комплексно сопряжённые функции, мнимые части которых на классической траектории взаимно уничтожаются.

3. Разрешение квантовых парадоксов на основе идей Рязанова

В соответствии с классическими представлениями определить состояние процессов в интервалах между измерениями можно путём интерполяции. Однако сглаженная картина, приемлемая для описания макроскопических процессов, не всегда соответствует явлениям микромира. Разрывы между событиями, возникающие при укрупнении масштаба, можно объяснить, если они заполнены вневременными транзакциями, включающими множество траекторий с участками прямого и обратного хода времени.

Попробуем конкретизировать абстрактные «квантовые траектории Вселенной» Рязанова, имея в виду прямой и обратный во времени ход в двух комплексно-сопряжённых пространствах. В грубом начальном приближении рассмотрим транзакцию отдельного микрообъекта без учёта связей с другими телами. В начале транзакции (по завершении необратимого события излучения, расщепления, измерения и пр.) её финал ещё неизвестен. Его определит сумма условно бесконечного множества траекторий произвольных конфигураций. Но для соблюдения законов сохранения они должны быть замкнутыми, возвращаясь в начальную точку пространства-времени. Подавляющая часть движений при этом происходит вдоль путей, действие на которых минимально. Прочие траектории имеют место, но их вероятность и, соответственно, частота реализации малы, а близкие противофазные траектории гасят их, приводя к интерференции. Движение в обоих направлениях происходит в комплексных, сопряжённых между собой пространствах, и на классических траекториях мнимые части взаимно уничтожаются.

Хотя каждая отдельная траектория возвращается в начало, финал транзакции (необратимое событие поглощения, аннигиляции, измерения и пр.) происходит в иной точке, месте большинства изломов во времени, после тщательного тестирования доступных траекторий. Это подобно пробой изоляции, происходящему в месте скопления достаточно большого заряда. Система обходит пространство, вновь и вновь возвращаясь в начальный момент времени, пока не «прорывается», завершая транзакцию, в некоторое новое состояние. Надо полагать, что решения уравнения Шрёдингера, записанного для конечной точки транзакции, также должны задавать суперпозицию, реализуемую совокупностью изломов. Если это соблюдается, накопленное количество изломов делает транзакцию необратимой и завершает процесс.

Это может произойти в точке любого вероятного взаимодействия, но столкновения с веществом преграды в двухщелевом эксперименте завершают только симметричные относительно прохождения частицы через щели транзакции. Они не приводят к декогеренции, которая происходит при фиксации системы в одной щели, при невозможности пройти через неё без измерения.

По каждой траектории микрообъект движется со случайным набором параметров, поэтому в ходе транзакции накапливается множество

альтернативных траекторий, придавая объекту форму волны. В частности, проходя через разные щели, он регулярно гасит сам себя в зонах отрицательной интерференции.

В реальных транзакциях действует не один, а множество объектов. Поскольку каждый из них тестирует всё пространство, можно говорить обо всех элементах во Вселенной. Но большинство воздействий можно не учитывать, имея в виду, что требование статистически значимой повторяемости соблюдается лишь при выполнении принципа минимального действия: если траектория хотя бы одного объекта ему не соответствует, повторяемость резко падает. Траектории неоптимальных конфигураций не могут набрать значимого количества повторений. Соответственно, отпадает и необходимость учёта в транзакции большинства удалённых объектов. Продолжительность движения по траектории, первой набравшей достаточное количество повторений, определяет длительность транзакции. При этом регулярные возвращения в начальный момент уравнивают траектории космической и микроскопической длительности. Исход транзакции зависит от амплитуд вероятности начальных и конечных состояний и соблюдения принципа минимального действия на всех входящих в транзакцию траекториях.

Множество ветвей суперпозиции реализуется, таким образом, в полном объёме, но фиксируется только финальное действие транзакции. Множественность одновременно пробегаемых системами траекторий объясняет и неопределённость значений параметров: из начальных точек они выходят многократно, но одновременно во всех возможных состояниях. Отсюда же понятно и правило Борна – форма волны создаётся траекториями разных конфигураций, повторяющихся в соответствии с их вероятностями. Использование спиноров для описания состояний системы, в равной мере постоянно находящейся в прямом и обратном во времени движении, отвечает предположению о сопряжённости комплексных пространств, содержащих множество траекторий «туда» и «обратно». Состояния системы при этом задаются соответствующим спинором.

Измерения и другие необратимые взаимодействия также описываются обратимыми квантовыми траекториями. Транзакция может завершиться любым необратимым событием, достижимость которого достаточно высока. Поскольку измерение не одномоментно и фактически распадается на совокупность параллельных и последовательных транзакций, когерентность теряется не сразу, а постепенно. Фактически мировой процесс образуется множеством транзакций, но наблюдению доступны только завершающие их события. В процессе тестирования реализации всевозможных траекторий не наблюдаем: из принципа причинности следует, что событие может произойти лишь в момент завершения транзакции. Невозможность наблюдения отдельных траекторий следует также из их ничтожности в сравнении со статистически значимым повторением, приводящим к событию.

Хотя большинство транзакций завершается, едва начавшись, их длина и продолжительность могут быть сколь угодно велики. И тем не менее, начало и конец транзакции как бы связаны единым внутренним временем. Это

хорошо демонстрируют явления запутанности. С.И. Кузнецов [14] предложил объяснять их многократным возвратом частиц в точку запутывания с обменом информацией, что и происходит во вневременных транзакциях. Рассмотрим мысленный эксперимент Эйнштейна – Подольского – Розена (ЭПР) [15]. Парадоксальность ему придаёт уверенность в необходимости соблюдения принципа локальности. Но вневременные транзакции вполне объясняют дальноедействие. Эксперимент ЭПР начинается с расщепления частицы, импульс которой был предварительно измерен. Поэтому суммарный импульс осколков изменяться не может. Следовательно, пары их траекторий должны иметь случайные, но сочетающиеся значения импульсов. Измерение импульса одного из осколков транзакцию завершает. Хотя второй продолжает возвращаться в начальную точку и вновь исходит из неё, его импульс теперь фиксирован, поскольку первый «забрал» определённую измерением часть. Фиксация импульсов сужает спектр частот и потому увеличивает неопределённость местоположения обоих осколков. Далее их транзакции не связаны. Первый исходит теперь из точки измерения, второй по-прежнему из точки и момента расщепления и запутывания.

Заметим, что обратимость времени не может как-либо использоваться для перемещения во времени макроскопических тел, поскольку существенна лишь в микромасштабе. Об информации нельзя говорить столь категорично, но любое измерение необратимо и прерывает получение «ответов» из будущего. Квантовые компьютеры в некотором смысле анализируют такого рода ответы на строго определённые запросы. Однако формировать какие-либо прогнозы на основе переносимой квантовыми траекториями информации не могут, видимо, и они.

Выводы

1. Парадоксальность квантовых явлений возникает в силу устоявшихся представлений о необратимости времени и локальности взаимодействий. Естественные в макроскопическом масштабе, они не носят обязательного характера и могут быть отброшены, что позволяет понять логику микромира. Как и утверждал И. Пригожин, стрела времени фундаментальна для классического мира. Но внутри необратимых вневременных транзакций происходят лишь обратимые взаимодействия, в том числе реализующие дальноедействие.

2. Основой для простого и непротиворечивого описания процессов микроуровня могут стать «квантовые траектории Вселенной» Рязанова, содержащие изломы во времени и пронизывающие всё пространство. Отсутствие фиксации стрелы времени в квантовых процессах объясняет одновременное нахождение систем в различных состояниях. Многократно возвращаясь в начало и повторно излучаясь, возможно с другими параметрами, единичная система способна проявлять свойства волны.

3. Соблюдение законов сохранения и симметрия движений микрообъектов во времени обеспечиваются предположением о замкнутости траекторий, постоянно возвращающихся в начальную точку пространства-времени.

Объединение множества траекторий в единую вневременную транзакцию, завершающуюся необратимым событием, согласуется с принципом причинности, поскольку наблюдению доступны только необратимые события, наступающие после накопления статистически значимого количества изломов в некоторой точке пространства-времени.

4. Сохранение и синхронное изменение свойств у запутанных частиц объясняется их регулярным возвращением в момент запутывания с постоянным обменом информацией между ними.

5. Принцип наименьшего действия, вытекающий из интегрирования бесконечного множества траекторий Фейнманом и Рязановым, позволяет минимизировать число значимых траекторий внутри транзакций, оставляя лишь пары классических путей по и против времени.

6. Представление о принадлежности траекторий в прямом и обратном времени двум комплексно-сопряжённым пространствам объясняет использование спиноров для описания квантовых систем и адекватность траекторий Рязанова в действительном пространстве.

Литература

1. Дойч Д. Структура реальности. Москва–Ижевск: РХД, 2001. 178 с.
2. Трефил Дж. 200 законов мироздания. URL: https://techlibrary.ru/b1/3a1r1flv1j1m_211h_200_l1lallp1o1plc_lnlj1rlplile1a1o1j2g_2007.pdf (дата обращения: 05.01.2025).
3. Ball P. Mysterious Quantum Rule Reconstructed From Scratch. URL: <https://www.quantamagazine.org/the-born-rule-has-been-derived-from-simple-physical-principles-20190213/> (дата обращения: 05.01.2025).
4. Чечельницкий А. М. Величайшая проклятая тайна Физики. URL: https://lib.uni-dubna.ru/search/files/ogl_vel_tayna/1.pdf (дата обращения: 06.01.2025).
5. Владимиров Ю. С. Метареляционный подход к основаниям фундаментальной физики // Метафизика. 2024. № 1 (51). С. 10–32.
6. Ллойд С. Программируя Вселенную. Квантовый компьютер и будущее науки. Москва : Альпина нонфикшн, 2013. 256 с.
7. Пригожин И. Р. Конец определенности. Время, хаос и новые законы Природы. Москва, Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. 208 с.
8. Wheeler J., Feynman R. Interaction with the absorber as the mechanism of radiation // Reviews of modern physics. 1945. April-July. Vol. 17, Num. 2 and 3. P. 157–181.
9. Cramer J. The Transactional Interpretation of Quantum Mechanics // Reviews of Modern Physics. 1986. July. Vol. 58. P. 647–688.
10. Фейнман Р. Пространственно-временной подход к нерелятивистской квантовой механике // Вопросы причинности в квантовой механике. Москва : Изд-во иностр. литературы, 1955. С. 167–207.
11. Фейнман Р., Хибс А. Квантовая механика и интегралы по траекториям. Москва : Мир, 1968. 382 с.
12. Рязанов Г. В. Квантовомеханические вероятности как суммы по путям // ЖЭТФ. 1958. Т. 35, вып. 1. С. 121–131.
13. Кухаренко Ю. А. Рождение стрелы времени из квантового хаоса // Наука и технология в России. 1997. № 3 (20).

14. Кузнецов С. И. Темпоральная интерпретация квантовой механики // Пространство и время: физическое, психологическое, мифологическое: сборник трудов V Международной конференции. Москва : Культурный центр «Новый Акрополь», 2007. С. 33–42.
15. *Einstein A., Podolsky B., Rosen N.* Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? // *Physical Review*. May 1935. Vol. 47, issue 10. P. 777–780.

SHOULD WE PUT UP WITH THE PARADOX'S OF THE MICROCOSM?

V.G. Kononov

Independent expert

6 Druzhby Ave, Kursk, 305040, Russian Federation

Abstract. The article demonstrates how the properties of the quantum world can be noncontradictory explained without using mathematical apparatus. They are generally considered incompatible with the logic of classical macroscopic physics. Indeed, wave-particle duality, magnetic pulses, negative energy, non-locality, entanglement, and other phenomena are not fit into the usual picture of the world. However, just one assumption provides the key to understanding most quantum paradoxes. If we assume that there is real and equal forward and backward in time movement in the microcosm, then we can find a simple explanation that is compatible with the principles of causality, conservation and symmetry.

Keywords: quantum paradoxes, wave-particle duality, integral over an infinite set of trajectories, Ryazanov, reversibility, long-range action, timeless transactions, spinors