

# The paradoxes of quantum superposition in the macrocosm

## Парадоксы квантовой суперпозиции в макромире

Путенихин Петр Васильевич  
[m55@mail.ru](mailto:m55@mail.ru)

### Аннотация

Quantum superposition from a formal point of view, is not a complicated concept. But from a logical point of view and from the standpoint of common sense it cannot find an explanation without the use of the concepts of "miracle" and "magic". Quantum mechanics says its mathematical apparatus is universal and can be extended to the phenomena of the macrocosm. Although the phenomenon of superposition in everyday reality can be explained to quite acceptable and logical way, without the paradoxical results, however, such an explanation of the phenomenon and their application on the macrocosm has another side: casts doubt on the notion of superposition.

Квантовая суперпозиция с формальной точки зрения не является сложным понятием. Но с логической точки зрения и с позиций здравого смысла она не может найти объяснения без использования понятий «чудо» и «магия». Квантовая механика утверждает, что ее аппарат является универсальным и может быть распространен на явления макромира. Хотя явления обыденной реальности и могут быть объяснены вполне приемлемым и логичным образом, без получения парадоксальных результатов, вместе с тем такое объяснение и распространение явления на макромир имеет и другую сторону: ставит под сомнение само понятие суперпозиции.

### Ключевые слова:

Квантовая суперпозиция, макромир, интерференция, двухщелевой эксперимент, шредингеровский кот, интерферометр Маха-Цандера, корпускулярно-волновой, фотон

### Содержание

Суперпозиция .....	2
Двухщелевой эксперимент .....	3
Интерференция с волновой точки зрения.....	3
Интерференция с корпускулярной точки зрения .....	4
Опыты, подобные двухщелевому эксперименту .....	5
Причины нарушения интерференции – знание о пути частицы.....	7
Интерференция как суперпозиция двух путей .....	8
Почему шредингеровский кот не интерферирует? .....	10
Сходство шредингеровского кота и фотона с точки зрения интерференции.....	13
Эксперименты, которые могли бы что-то прояснить .....	13
Гипотеза: вторая щель - резонатор фантома.....	14
Возможное объяснение феномена интерферометра Маха-Цандера. ....	15
Заключение .....	16
Литература .....	18

«...в самом направлении  $A$ , вокруг которого электрон «вращается как вокруг оси» до того, как произведено измерение, по-видимому, есть нечто полностью объективное. Действительно, мы могли бы остановить свой выбор на измерении спина электрона в направлении  $A$ , и электрон должен быть приготовлен так, чтобы достоверно (т.е. с вероятностью 100%) дать ответ ДА, если мы случайно угадаем истинное направление спина! Каким-то образом «информация» о том, что электрон действительно должен дать именно такой ответ, хранится в спиновом состоянии электрона». (Пенроуз)

## Суперпозиция

Квантовая суперпозиция является одним из самых загадочных понятий квантовой механики. Принцип суперпозиции можно сформулировать в следующем виде (Ландау, Лившиц):

*Пусть в состоянии с волновой функцией  $\psi_1(r)$  некоторое измерение приводит с достоверностью к определенному результату (I), а в состоянии  $\psi_2(r)$  – к результату (II). Тогда принимается, что всякая линейная комбинация  $\psi_1$  и  $\psi_2$ , т.е. всякая функция вида  $\alpha\psi_1 + \beta\psi_2$  ( $\alpha \neq \beta$  – комплексные числа) описывает такое состояние, в котором то же измерение дает либо результат (I), либо результат (II).*

С математической и формальной точки зрения принцип суперпозиции вряд ли может встретить непонимание. Точная формулировка и ясная трактовка делают это понятие эффективным и работающим инструментом в исследованиях и теоретических построениях в микромире. Однако данное определение формализовано, и в нем не сразу заметны загадочные свойства суперпозиции.

*«квантовый принцип суперпозиции состояний. Если квантовая система может существовать в состояниях  $|\psi_1\rangle$  и  $|\psi_2\rangle$ , то она может существовать в состояниях их суперпозиции:  $|\psi\rangle = a|\psi_1\rangle + b|\psi_2\rangle$ , где  $a$  и  $b$  – комплексные амплитуды,  $|a|^2 + |b|^2 = 1$ » (Борисов К.Е., Построение квантовых вычислителей. – Омск, 2003).*

Здесь загадочные качества суперпозиции показаны более заметно. Как видим, утверждается, что система обладает способностью находиться одновременно в двух взаимоисключающих состояниях.

*«Всем известно, что пространство состояний квантовомеханической системы линейно. Это значит, что наряду с любыми двумя ее состояниями  $|\psi_1\rangle$ ,  $|\psi_2\rangle$  возможным состоянием является также и их линейная комбинация (суперпозиция)  $c_1|\psi_1\rangle + c_2|\psi_2\rangle$  любыми (комплексными) коэффициентами  $c_1$ ,  $c_2$ . Например, если точечная частица может находиться в одной из двух точек, то она может находиться и "одновременно в обеих точках"» [л.10].*

Явно показано загадочное, противоречащее здравому смыслу качество квантовой суперпозиции. Хотя выводы и даются в кавычках, но главное в суперпозиции очевидно: это действительно способность квантовой системы одновременно находиться в двух взаимоисключающих состояниях. Таким образом, можно сказать более определенно: квантовая суперпозиция означает, что система в один и тот же момент может находиться в нескольких взаимоисключающих состояниях. Именно одновременно, а не последовательно принимая каждое из них. Это обстоятельство настолько же

непротиворечиво с математической и формальной физической точек зрения (с точки зрения физической интерпретации), насколько же неприемлемо с логической, здравого смысла и даже с философско-мировоззренческой точек зрения. С этих позиций объяснение суперпозиции невозможно без привлечения внелогических понятий – чудо, магия, всевозможные божественные сущности и вневременные, внепространственные модели.

Для области квантовых объектов, микромира это явление принимается без возражений ввиду сложности математического аппарата квантовой механики и трудности абстрагирования от обыденного, макромира, что скорее означает «возможно, в этом что-то и есть...», чем четкое понимание явления. Но квантовая механика утверждает, что аппарат суперпозиции имеет универсальный характер и может быть распространен на явления макромира. Действительно, с формальной, то есть поверхностной точки зрения, такая аналогия, несомненно, просматривается, и нет видимых оснований отвергать ее. Ряд парадоксов в применении квантово-механического аппарата к макромиру на проверку находит логичное и непротиворечивое объяснение (например, знаменитый парадокс шредингеровского кота). Последовательное и тщательное рассмотрение явления показывает, что парадоксы на самом деле оказываются видимостью и возникают из-за применения квантово-механического подхода частично, вперемешку со здравым смыслом.

### **Двухщелевой эксперимент**

Эксперимент с двумя щелями является квинтэссенцией принципа квантовой суперпозиции. Согласно Фейнману, он «заключает в себе сердце квантовой механики» [л.2, с.19]. Экспериментальная установка состоит из источника, диафрагмы из двух щелей, и экрана, на котором наблюдается интерференционная картина. После прохождения щелей на экране позади барьера возникает интерференционная картина из чередующихся ярких и темных полос. Отдельные фотоны попадают на экран в отдельных точках, но наличие интерференционных полос на экране показывает, что существуют точки, в которые фотоны не попадают. Пусть  $p$  - одна из таких точек. Тем не менее фотон может попасть в  $p$ , если закрыть какую-либо из щелей. Такая деструктивная интерференция, при которой альтернативные возможности могут иногда сокращаться, является одним из самых загадочных свойств квантовой механики [л.1, с.79].

Интересное свойство эксперимента с двумя щелями, подтвержденное во всех экспериментах, состоит в том, что интерференционную картину можно собрать по одной частице – то есть, установив настолько низкую интенсивность источника, что каждая частица будет интерферировать только сама с собой. В этом случае у нас появляется соблазн спросить себя, через какую из двух щелей частица пролетает «на самом деле» [л.2, с.19].

### **Интерференция с волновой точки зрения**

Самым распространенным и безупречным является объяснение результатов двухщелевого эксперимента с волновой точки зрения.

*«Если разность пройденных волнами расстояний равна половине нечетного числа длин волн, то колебания, обусловленные одной волной, достигнут гребня в тот момент, когда колебания другой волны достигнут впадины, а следовательно, одна волна уменьшит возмещение, создаваемое другой, и даже может полностью его погасить. Это иллюстрирует рис.1.10, где показана схема эксперимента с двумя щелями, в котором волны от источника  $A$  могут достичь линии  $BC$  на экране, только пройдя через одну из двух щелей  $H1$  или  $H2$  в препятствии, расположенном между источником и экраном. В точке  $X$  на линии  $BC$  разность длин путей равна  $AH1X-AH2X$ ; если она равна целому*

числу длин волн, возмущение в точке  $X$  будет большим; если она равна половине нечетного числа длин волн, возмущение в точке  $X$  будет малым. На рис.1.10 показана зависимость интенсивности волны от положения точки на линии  $BC$ , которая связана с амплитудами колебаний в этих точках» [л.3, с.39].

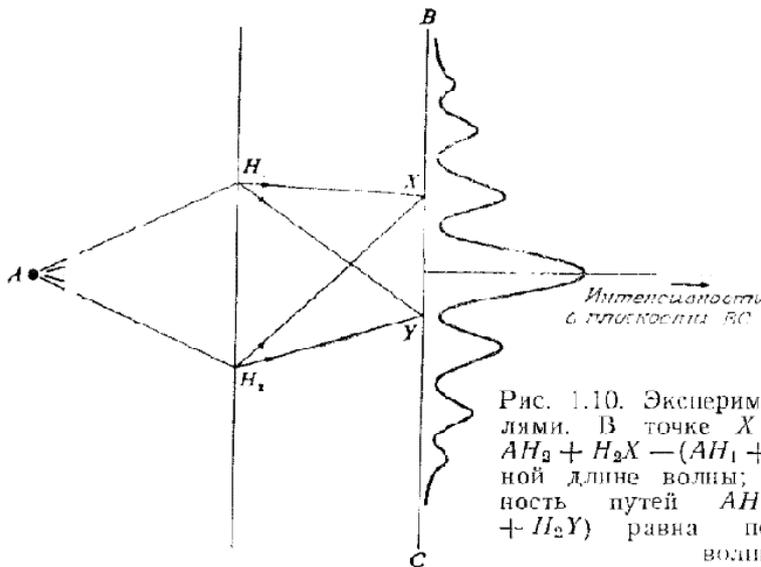


Рис. 1.10. Эксперимент с двумя щелями. В точке  $X$  разность путей  $AH_2 + H_2X - (AH_1 + H_1X)$  равна одной длине волны; в точке  $Y$  разность путей  $AH_1 + H_1Y - (AH_2 + H_2Y)$  равна половине длины волны.

## Интерференция с корпускулярной точки зрения

С корпускулярной точки зрения объяснение наблюдаемого эффекта сталкивается с существенными трудностями.

«Когда мы образуем квадрат модуля суммы  $w+z$  двух комплексных чисел  $w$  и  $z$ , мы обычно не получаем только лишь сумму квадратов модулей этих чисел; существует дополнительный «поправочный член»:

$$|w + z|^2 = |w|^2 + |z|^2 + 2|w||z|\cos\theta,$$

где  $\theta$  – угол, образуемый направлениями на точки  $z$  и  $w$  из начала координат на плоскости Аргана...

Именно поправочный член  $2|w||z|\cos\theta$  описывает квантовую интерференцию между квантовомеханическими альтернативами» [л.5, с.198].

Математически, казалось бы, все логично и ясно. Но представить, каким же все-таки путем, какими траекториями двигался электрон до встречи с экраном, приведенное описание увидеть не позволяет:

«Стало быть, утверждение о том, что электроны проходят либо сквозь щель 1, либо сквозь щель 2, неверно. Они проходят через обе щели одновременно. И очень простой математический аппарат, описывающий такой процесс, даёт абсолютно точное согласие с экспериментом» [л.4].

Представить с позиций здравого смысла как одна частица, пусть даже не имеющая действительно точечных размеров, но, тем не менее, все-таки ограниченная одним неразрывным объемом, проходит одновременно через два не связанных друг с другом отверстия практически невозможно.

«Сама интерференционная картина тоже косвенным образом указывает на корпускулярное поведение исследуемых частиц, так как на самом деле она не непрерывная, а составлена как изображение на экране телевизора из множества точек, создаваемых вспышками от отдельных электронов. Но объяснить эту интерференционную картину на основе допущения, что каждый из электронов прошел либо через одну, либо через другую щель, совершенно невозможно.

Гейзенберговский принцип неопределенности дает количественное выражение указанных представлений. Он утверждает, что невозможно провести такой эксперимент, в

*котором обнаруживались бы частицы с точными значениями как координаты  $x$ , так и импульса  $p$  в направлении  $x$ » [л.3, с.42].*

Как видим, Садбери приходит к такому же выводу о невозможности прохождения одной частицы одновременно через две щели, хотя и отмечает ее очевидную корпускулярную структуру. Принцип неопределенности лишь усиливает эти представления, фактически утверждая, что такую возможность нельзя даже рассматривать.

Так почему же частица попадает в определенные точки и избегает другие? Словно бы она знает о запретных зонах. Это особенно наглядно, когда частица интерферирует сама с собой при низкой интенсивности потока. В этом случае приходится рассматривать возможность одновременного прохождения частицей обеих щелей одновременно. При подобных объяснениях частица рассматривается чуть ли не как разумное существо, обладающее даром предвидения. Эксперименты с пролетными детекторами или детекторами на исключение (то, что частица не зафиксирована возле одной щели, означает, что она прошла через другую) картину не проясняют. Не существует разумных объяснений, как и почему одна целостная частица реагирует на наличие второй щели, через которую она не проходила. Признано, что интерференция возникает только в опытах с волной или частицами, проявляющими в этом опыте только волновые свойства.

Каким-то магическим образом частица выставляет напоказ экспериментатору свою волновую или корпускулярную стороны, фактически меняя их на ходу, в полете. Если поглотитель ставится сразу после одной из щелей, то частица как волна проходит через щели вплоть до поглотителя, продолжая затем свой полет уже как частица. При этом поглотитель, как оказывается, не отбирает у частицы даже малой части ее энергии. Хотя очевидно, что через перекрытую щель хотя бы часть частицы все-таки должна была пройти.

### **Опыты, подобные двухщелевому эксперименту**

Эксперимент, подобный двухщелевому, может быть проведен с помощью интерферометра Маха-Цандера. Эффекты, наблюдаемые при этом схожи с эффектами, наблюдаемыми в двухщелевом эксперименте. Вот как их описывает Белинский:

*«Рассмотрим эксперимент с интерферометром Маха-Цандера (рис.3). Подадим на него однофотонное состояние и уберем вначале второй светоделитель, расположенный перед фотодетекторами. Детекторы будут регистрировать одиночные фотоотсчеты либо в одном, либо в другом канале, и никогда оба одновременно, так как на входе – один фотон.*



**Рис. 3.** Схема интерферометра Маха –Цандера.

*Вернем светоделитель. Вероятность фотоотсчетов на детекторах описывается функцией  $1 + \cos(\Phi_1 - \Phi_2)$ , где  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  – фазовые задержки в плечах интерферометра. Знак зависит от того, каким детектором ведется регистрация. Эту гармоническую функцию нельзя представить в виде суммы двух вероятностей  $P(\Phi_1) + P(\Phi_2)$ . Следовательно, после первого светоделителя фотон присутствует как бы в обоих плечах интерферометра одновременно, хотя в первом акте эксперимента он находился только в одном плече. Это необычное поведение в пространстве и носит название квантовой*

нелокальности. Ее нельзя объяснить с позиций привычных пространственных интуиций здравого смысла, обычно присутствующих в макром мире» [л.9].

Если для фотона на входе свободны оба пути, то на выходе фотон ведет себя как в двухщелевом эксперименте: может пройти второе зеркало только по одному пути – интерферируя с некоей своей «копией», пришедшей по другому пути. Если второй путь закрыт, то фотон приходит в одиночестве и проходит второе зеркало в любом направлении.

Похожий вариант подобия двухщелевого эксперимента описывает Пенроуз (описание весьма красноречивое, поэтому привожу его почти полностью):

«Щели не обязательно должны располагаться поблизости друг от друга для того, чтобы фотон мог пройти сквозь них одновременно. Чтобы понять, каким образом квантовая частица может находиться «в двух местах сразу» независимо от того, как далеко друг от друга расположены эти места, рассмотрим экспериментальную установку, немного отличающуюся от эксперимента с двумя щелями. Как и прежде, у нас имеется лампа, испускающая монохроматический свет, по одному фотону за раз; но вместо того, чтобы пропускать свет через две щели, отразим его от полупосеребренного зеркала, наклоненного к пучку под углом 45 градусов.



После встречи с зеркалом волновая функция фотона разделяется на две части, одна из которых отражается в сторону, а вторая продолжает распространяться в том же направлении, в котором первоначально двигался фотон. Как и в случае фотона, возникающего из двух щелей, волновая функция имеет два пика, но теперь эти пики разнесены на большее расстояние – один пик описывает отраженный фотон, другой – фотон, прошедший сквозь зеркало. Кроме того, со временем расстояние между пиками становится все больше и больше, увеличиваясь беспрестанно. Представьте себе, что эти две части волновой функции уходят в пространство, и что мы ждем целый год. Тогда два пика волновой функции фотона окажутся на расстоянии светового года друг от друга. Каким-то образом фотон оказывается сразу в двух местах, разделенным расстоянием в один световой год!

Есть ли какое-нибудь основание принимать такую картину всерьез? Разве мы не можем рассматривать фотон просто как некий объект, находящийся с вероятностью 50% в одном месте, и с вероятностью 50% - в другом! Нет, это невозможно! Независимо от того, как долго фотон находился в движении, всегда существует возможность того, что две части фотонного пучка могут быть отражены в обратном направлении и встретиться, в результате чего могут возникнуть интерференционные эффекты, которые не могли бы возникнуть из вероятностных весов двух альтернатив. Предположим, что каждая часть фотонного пучка встречает на своем пути полностью посеребренное зеркало, наклоненное под таким углом, чтобы свести обе части вместе, и что в точке встречи двух частей помещено еще одно полупосеребренное зеркало, наклоненное под таким же углом, как и первое зеркало. Пусть на прямых, вдоль которых распространяются части фотонного пучка, расположены два фотоэлемента (рис.б.18). Что мы обнаружим? Если бы было справедливо, что фотон следует с вероятностью 50% по одному маршруту и с вероятностью 50% - по другому, то мы обнаружили бы,

что оба детектора зафиксировали бы фотон каждый с вероятностью 50%. Однако в действительности происходит нечто иное. Если два альтернативных маршрута в точности равны по длине, то с вероятностью 100% фотон попадет в детектор А, расположенный на прямой, вдоль которой первоначально двигался фотон, и с вероятностью 0 – в любой другой детектор В. Иными словами фотон с достоверностью попадет в детектор А!

Разумеется, такой эксперимент никогда не был поставлен для расстояний порядка светового года, но сформулированный выше результат не вызывает серьезных сомнений (у физиков, придерживающихся традиционной квантовой механики!) Эксперименты такого типа в действительности выполнялись для расстояний порядка многих метров или около того, и результаты оказывались в полном согласии с квантово-механическими предсказаниями. Что же теперь можно сказать о реальности существования фотона между первой и последней встречей с полуотражающим зеркалом? Напрашивается неизбежный вывод, согласно которому фотон должен в некотором смысле действительно пройти оба маршрута сразу! Ибо если бы на пути любого из двух маршрутов был помещен поглощающий экран, то вероятности попадания фотона в детектор А или В оказались бы одинаковыми! Но если открыты оба маршрута (оба одинаковой длины), то фотон может достичь только А. Блокировка одного из маршрутов позволяет фотону достичь детектора В! Если оба маршрута открыты, то фотон каким-то образом «знает», что попадание в детектор В не разрешается, и поэтому он вынужден следовать сразу по двум маршрутам.

Заметим также, что утверждение «находится сразу в двух определенных местах» не полностью характеризует состояние фотона: нам необходимо отличать состояние  $\psi_t - \psi_b$ , например, от состояния  $\psi_t + i\psi_b$ , где  $\psi_t$  и  $\psi_b$  теперь относятся к положениям фотона на каждом из двух маршрутов (соответственно «прошедшем» и «отраженном!»). Именно такого рода различие определяет, достигнет ли фотон с достоверностью детектора А, пройдя до второго полупосеребряного зеркала, либо он с достоверностью достигнет детектора В (или же он попадет в детекторы А и В с некоторой промежуточной вероятностью).

Эта загадочная особенность квантовой реальности, состоящая в том, что мы всерьез должны принимать во внимание, что частица может различными способами «находиться в двух местах сразу», проистекает из того, что нам приходится суммировать квантовые состояния, используя комплекснозначные веса для получения других квантовых состояний» [л.5, с.208].

И вновь, как видим, математический формализм должен нас как бы убедить в том, что частица находится в двух местах сразу. Именно частица, а не волна. К математическим уравнениям, описывающим это явление, безусловно, не может быть претензий. Однако трактовка их с позиций здравого смысла вызывает серьезные трудности и требует использования понятий «магия», «чудо».

### **Причины нарушения интерференции – знание о пути частицы**

Одним из основных вопросов при рассмотрении явления интерференции квантовой частицы является вопрос о причине нарушения интерференции. Заречный так формулирует этот вопрос:

«что необходимо для наблюдения суперпозиции состояний, интерференционной картины? Ответ на этот вопрос достаточно ясен: для наблюдения суперпозиции мы не должны фиксировать состояние объекта. Когда мы смотрим на электрон, то обнаруживаем, что он проходит либо через одно отверстие, либо через другое. Суперпозиции этих двух состояний нет! А когда мы не него не смотрим, он одновременно проходит через две щели, и распределение их на экране совсем не такое, чем тогда, когда мы на них смотрим!» [л.4].

То есть нарушение интерференции происходит вследствие наличия знания о траектории движения частицы. Vassigaluppi делает похожий вывод: встречаются ситуации, в которых интерференционный член не наблюдается, т.е. в которых действует классическая формула для вычисления вероятностей. Это происходит тогда, когда мы осуществляем в щелях детектирование, независимо от нашей веры в то, что измерение связано с «истинным» коллапсом волновой функции (т.е. что только *одна* из компонент подвергается измерению и оставляет след на экране) [л.6].

Более того, не только полученное знание о состоянии системы нарушает интерференцию, но и даже потенциальная возможность получить это знание является для интерференции подавляющей причиной. Не само знание, а принципиальная возможность узнать в будущем состояние частицы разрушают интерференцию. Опыт Цыпенюка:

*«Пучок атомов рубидия захватывается в магнитооптическую ловушку, осуществляется его лазерное охлаждение, а затем атомное облако освобождается и падает под действием гравитационного поля. При своем падении атомы проходят последовательно через две стоячие световые волны, образующие периодический потенциал, на котором рассеиваются частицы. Фактически происходит дифракция атомов на синусоидальной дифракционной решетке, аналогично тому, как происходит дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости. Падающий пучок *A* (его скорость в области взаимодействия составляет всего 2 м/с) расщепляется вначале на два пучка *B* и *C*, затем попадает на вторую световую решетку, после которой образуются две пары пучков (*D*, *E*) и (*F*, *G*). Эти две пары перекрывающихся пучков в дальней зоне образуют стандартную интерференционную картину, соответствующую дифракции атомов на двух щелях, которые расположены на расстоянии *d*, равном поперечному расхождению пучков после первой решетки» [л.8].*

В процессе эксперимента атомы «метились» и по этой метке предполагалось определить, по какой именно траектории они двигались до образования интерференционной картины:

*«В результате вторичного взаимодействия с микроволновым полем после световой решетки этот фазовый сдвиг преобразуется в разную заселенность в пучках *B* и *C* атомом с электронным состоянием  $|2\rangle$  и  $|3\rangle$ : в пучке *B* преимущественно находятся атомы в состоянии  $|2\rangle$ , в пучке *C* – атомы в состоянии  $|3\rangle$ . Таким довольно изощренным способом, оказались помеченными атомные пучки, претерпевающие затем интерференцию.*

*Узнать о том, по какой траектории двигался атом, можно потом, определив его электронное состояние. Следует еще раз подчеркнуть, что практически никакого изменения импульса атома при такой процедуре мечения не происходит.*

*При включении микроволнового излучения, которое метит атомы в интерферирующих пучках, интерференционная картина полностью исчезает. Следует подчеркнуть, что информация не считывалась, не определялось внутреннее электронное состояние. Информация о траектории атомов лишь записывалась, атомы запомнили, каким путем они двигались» [л.8].*

Таким образом, видим, что даже создание потенциальной возможности для определения траектории интерферирующих частиц разрушает интерференционную картину. Частица не просто не может одновременно проявлять волновые и корпускулярные свойства, но эти свойства не совместимы даже частично: либо частица ведет себя полностью как волна, либо полностью как локализованная частица. Если мы произведем «настройку» частицы как корпускулы, установив ее в некоторое, свойственное корпускуле состояние, то при проведении эксперимента для выявления ее волновых свойств все наши настройки будут уничтожены.

## **Интерференция как суперпозиция двух путей**

Как отмечалось, объяснение эффекта интерференции с корпускулярной, а не волновой природы частицы, производится с помощью понятия суперпозиции. Два пути фотона образуют суперпозицию.

*«Такая деструктивная интерференция, при которой альтернативные возможности могут иногда сокращаться, является одним из самых загадочных свойств квантовой механики. Мы объясняем это явление с помощью принципа суперпозиции, присущего квантовой теории. Пусть фотон может распространяться по путям A и B (соответствующие фотонные состояния обозначим  $|A\rangle$  и  $|B\rangle$ ). Предположим, что это те же пути, по которым фотон достигает точки p, проходя либо через одну щель, либо через другую. Тогда принцип суперпозиции утверждает, что возможен и путь, описываемый комбинацией  $z|A\rangle + w|B\rangle$ , где z и w – комплексные числа» [л.5].*

Хотя частицы и рассматриваются в волновом состоянии, тем не менее, они по-прежнему остаются частицами и интерференция рассматривается в таком случае как следствие суперпозиционного состояния:

*«Природу этой интерференционной картины легко понять, если исходить из волновых свойств частиц, вылетающих из источника. Здесь можно заметить, что эксперимент с двумя щелями проводился с частицами различных типов, от фотонов и электронов до нейтронов и атомов. С точки зрения квантовой механики, состояние на экране – это когерентная суперпозиция*

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\psi_a\rangle + |\psi_b\rangle), \quad (1.1)$$

*где  $|\psi_a\rangle$  и  $|\psi_b\rangle$  описывают квантовое состояние в том случае, если открыта только щель a или щель b» [л.2].*

В несколько упрощенном виде:

*«В природе имеет место ситуация, когда объект находится в нескольких состояниях одновременно, т.е. имеет место наложение двух или большего числа состояний друг на друга. И не просто наложение, а наложение без какого-либо взаимного влияния. Например, экспериментально доказано, что одна частица может одновременно проходить через две щели в непрозрачном экране. Частица, проходящая через первую щель - это одно состояние. Та же частица, проходящая через вторую щель - другое состояние. И эксперимент показывает, что наблюдается сумма этих состояний! Т.е. частица одновременно проходит через две щели! В таком случае говорят о суперпозиции состояний» [л.4].*

Возможно ли распространение квантово-механического формализма на макромир?

*«Можно ли наблюдать суперпозицию состояний не только в микромире, но и в макромире, в нашей обыденной жизни?» [л.4].*

В известном парадоксе шредингеровского кота, его состояния жив-мертв образуют суперпозицию. Эту суперпозицию смоделировать и даже представить довольно проблематично. Но квантовая механика утверждает, что должна существовать суперпозиция и интерференция как в двухщелевом эксперименте с котом в качестве макро-частицы. Поэтому в принципе можно допустить, что также должна существовать и суперпозиция «жив-мертв».

*«Правила квантовой механики, насколько можно судить, утверждают, что и крикетные шары, и слоны должны вести себя описанным выше странным образом, где различные альтернативные возможности могут каким-то образом образовывать «суммы» состояний с комплексными весами! Однако нам никогда не приходилось реально видеть крикетные шары или слонов в виде столь странных «сумм». Почему? Это трудная и к тому же противоречивая тема [л.5, 195].*

*По правилам квантовой механики любые два состояния, сколь бы сильно они ни отличались друг от друга, могут сосуществовать в любой комплексной суперпозиции. Более того, любой объект, состоящий из отдельных частиц, должен обладать способностью существовать в такой суперпозиции пространственно далеко разнесенных состояний и тем самым «находиться в двух местах сразу»! В этом*

*отношении формализм квантовой механики не проводит различия между отдельными частицами и сложными системами, состоящими из многих частиц. Почему же тогда мы не наблюдаем в повседневной жизни макроскопические тела, например, крикетные шары или даже людей, находящиеся в двух совершенно различных местах? Это – глубокий вопрос, и современная квантовая теория по сути дела не дает нам удовлетворительного ответа на него...*

*В случае объекта, сравнимого с крикетным шаром, нам необходимо рассматривать систему на «классическом уровне». Или, как принято обычно говорить, производить «наблюдение» или «измерение» над крикетным шаром. Но в этом случае в качестве вероятностей, описывающих реальные альтернативы, необходимо рассматривать квадраты модулей комплекснозначных амплитуд вероятности, входящие в наши линейные суперпозиции в виде весов» [л.5, 210].*

Вспомним, что при таком вычислении появляется так называемый интерференционный член, который и описывает формальную сторону появления интерференционной картины. Наблюдение этой интерференционной картины в реальности – другая сторона проблемы.

Сложность этой проблемы для некоторой части исследователей отмечает (косвенно) С.Доронин:

*«Видимо, некоторые полагают, что квантовая запутанность с окружением макроскопического тела – это что-то неестественное, типа “шредингеровского кота”, который ни-жив/ни-мертв».*

<http://physmag.hut1.ru/forum/topic.php?forum=1&topic=49&start=1#1137087179>

Парадокс шредингеровского кота состоит в следующем.

В мысленном эксперименте Шредингера кошка сидит на бомбе, взрывное устройство которой запускается радиоактивным атомом и счетчиком Гейгера. Описывая с помощью волновых функций не только радиоактивный атом, запускающий «адскую машину», но и всю систему, включая кошку, Шредингер приходит к парадоксу. Парадокс состоит в том, что, при применении к кошке квантовомеханического описания, наряду с предполагаемыми «чистыми» состояниями, отвечающими живой или мертвой кошке, согласно принципу суперпозиции, что-то должно отвечать и суперпозиции волновых функций этих чистых состояний - состоянию, когда кошка «ни жива, ни мертва», что явно противоречит здравому смыслу.

Доронин рассматривает кота в так называемом чистом суперпозиционном кэт-состоянии:

*«Под кэт-состоянием я обычно понимаю именно чистое состояние типа  $|\Psi\rangle = 1/\sqrt{2} (|00\dots 0\rangle + |11\dots 1\rangle)$ »*

утверждая, что с равной вероятностью кот может быть в одном из двух состояний и в их когерентной суперпозиции: живой и мертвый *одновременно*:

*«с классической точки зрения здесь возникают “парадоксальные” ситуации – кот должен быть и живой и мертвый одновременно».*

Как видим, с точки зрения квантовой механики без каких бы то ни было недомолвок, явно, однозначно утверждается: шредингеровский кот находится в суперпозиционном состоянии «живой» и «мертвый».

## **Почему шредингеровский кот не интерферирует?**

Почему же нам не приходилось наблюдать эту парадоксальную суперпозицию состояний кота? Вспомним заданный выше вопрос: что надо для наблюдения суперпозиции состояний? И вывод, который получен при рассмотрении этого вопроса: *«для наблюдения суперпозиции мы не должны фиксировать состояние объекта» (Заречный).*

Вопрос этот необходимо немного пояснить. Необходимо различать суперпозицию состояний как таковую и следствие этой суперпозиции: интерференцию. Реально, визуально мы можем наблюдать только интерференцию, которая является следствием суперпозиции состояний, но не саму суперпозицию.

Нам никогда не приходилось реально видеть крикетные шары или слонов в виде столь странных суперпозиционных «сумм», когда они находятся одновременно в двух местах сразу. Однако нахождение квантовой частицы одновременно в двух местах также никто не наблюдал. Вывод о том, что частицы находятся в виде столь странной суперпозиционной суммы, делается на основе косвенных данных, когда наблюдаемое явление заставляет сделать такое предположение: частица *как бы* находится в двух разных местах. Тогда с необходимостью можно сделать вывод, что и для крикетных шаров, слонов и людей нет оснований требовать явного наблюдения такой «странной суммы»! Действительно, мы не наблюдаем, что крикетный шар *визуально* находится и там и здесь. Но такого *визуального* наблюдения не может быть сделано и для квантовой частицы. Более того, есть бесспорные данные, что все обстоит как раз наоборот. Хотя квантовая частица и математически и в эксперименте ведет себя неким загадочным образом, убеждая нас, что она находится как бы одновременно в двух разных местах, любой эксперимент всегда показывает: частица находится только в одном единственном месте, в том месте, где ее регистрирует датчик. Никогда эксперимент не показывал наличие частицы в двух местах сразу *фактически*. При этом и «половинки» частицы также никогда не были зафиксированы. Таким образом, можно сделать вывод: ожидание увидеть макрообъект в состоянии *визуальной* суперпозиции, то есть, когда макрообъект явно наблюдается в двух различных местах, противоречит квантово-механическому формализму, является противоречием с наблюдаемым в экспериментах поведением квантовой частицы. Поскольку квантовая механика утверждает, что макрообъект должен вести себя в состоянии суперпозиции аналогично квантовой частице, то и наблюдаемость этой суперпозиции должна быть аналогична квантовой наблюдаемости. Поэтому нет никакого противоречия в том, что макрообъект, находящийся в состоянии суперпозиции мы не можем визуально наблюдать в каждом из этих состояний одновременно. Квантовая механика, как отмечает Пенроуз, не дает нам объяснения, почему мы не можем наблюдать суперпозиционные состояния макрообъектов точно так же, как она не дает такого же объяснения, почему мы не наблюдаем одновременно суперпозиционные состояния квантовых объектов. *«Это – глубокий вопрос, и современная квантовая теория по сути дела не дает нам удовлетворительного ответа на него»* (Пенроуз).

О суперпозиционном состоянии частицы мы можем судить по интерференционной картине. Следует предположить, что о суперпозиционном состоянии макрообъекта мы также можем судить по интерференционной картине. Квантово-механический формализм прямо указывает на это через интерференционный член. То есть, формально нет никаких запретов на интерференцию суперпозиционных состояний макрообъектов, в том числе, крикетных шаров, слонов, людей и шредингеровского кота. Главным в этом формализме является наличие таких взаимоисключающих суперпозиционных состояний. Для шредингеровского кота такими состояниями являются «живой» - «мертвый» кот. Жив-мертв образуют суперпозицию состояний кота. Парадокс шредингеровского кота состоит в том, что в реальности мы не можем наблюдать кота одновременно и живым и мертвым. Почему? Во-первых, собственно суперпозицию наблюдать, как отмечено выше, мы не можем – мы можем наблюдать ее косвенно, через интерференцию. Но каким образом, на какой установке можно было бы получить интерференционную картину состояний «живой-мертвый»? Во-вторых, достаточно очевидный, как это ни странно, ответ с позиций теории декогеренции, дает С.Доронин:

*«Если есть взаимодействие между макроскопическими объектами, то между ними обязательно будут присутствовать квантовые корреляции».*

Что это означает? Вспомним, что для наблюдения интерференции, необходимо отсутствие даже принципиально возможности узнать состояние объекта. Но наличие квантовых корреляций исключает такую возможность «не знания». Взаимодействие объекта (кота) с окружением: приборами, наблюдателем является фактором, нарушающим интерференцию состояний кота. Всегда при наблюдении, измерении состояния кота мы вступаем с ним во взаимодействие, получаем знание о его состоянии или, как минимум, создаем принципиальную возможность получить это знание в будущем. В таком случае интерференция нарушается.

*«Конечно же, это не так, наоборот, такой “кот” может существовать только в случае изолированной системы, когда нет его взаимодействия с окружением» (Доронин).*

Только отсутствие какой бы то ни было принципиальной возможности сейчас или в будущем узнать состояние кота (до коллапса его вектора состояния – когда он фактически перейдет в одно из собственных состояний – жив или мертв) позволяют говорить о суперпозиции его состояний. То есть суперпозиция есть, но только при отсутствии знания о реальном состоянии кота.

*«А квантовые корреляции с окружающими объектами – это как раз прямой результат взаимодействия с ними, это самое естественное состояние. Для любого макроскопического объекта не будет квантовой запутанности с другими объектами только в том случае, если между ними нет, и не было взаимодействия».*

(Доронин, <http://physmag.hut1.ru/forum/topic.php?forum=1&topic=49&start=1#1137087179>)

Только в этом случае можно говорить о наличии суперпозиции состояний макрообъекта – кота, о том, что он находится одновременно в двух состояниях «жив» и «мертв». Следовательно, невозможность наблюдения в реальности этих двух состояний ясно и недвусмысленно предсказана формализмом квантовой механики и не должна, таким образом, вызывать недоумения.

Говорить, таким образом, о парадоксе (в изложении Шредингера) неправильно: *«Суперпозиция, когерентное состояние может быть только для замкнутой системы (чистого состояния). В нелокальном состоянии может находиться только вся коробка – вместе с котом и всем остальным содержимым, и при этом рядом не должно быть внешнего наблюдателя, изучающего коробку».*

(Доронин, <http://physmag.hut1.ru/forum/topic.php?forum=5&topic=20&start=4#1135712537>)

*«Два состояния – это только с классической точки зрения, только для внешнего наблюдателя. Два возможных состояния может увидеть только внешний наблюдатель уже после декогеренции, если он будет измерять, взаимодействовать с системой» (Доронин).*

Только внешний наблюдатель может задаться вопросом: каким образом реальный макроскопический живой объект может быть при этом одновременно мертвым? Но такой подход с точки зрения квантовой механики совершенно не правомерен:

*«Состояние суперпозиции “кота” и любой другой системы – не имеет к нам, к внешним наблюдателям, никакого отношения – это состояние самой системы, и эти состояния самой системы могут быть разные – локальное сепарабельное и нелокальное суперпозиционное» (Доронин).*

Только после перехода системы (кот) в локальное, реально наблюдаемое, сепарабельное состояние внешний наблюдатель может убедиться в его состоянии, которое возникло в результате коллапса вектора состояния системы. Но когда речь идет о суперпозиционном состоянии кота, до момента коллапса его вектора состояния:

*«Квантовая теория говорит о том, что кот вообще нет в локальном состоянии, он типа “растворен” в окружающей реальности, и лишь при декогеренции мы можем “проявить” его в том или ином состоянии».*

(Доронин, <http://physmag.hut1.ru/forum/topic.php?forum=5&topic=20&start=4#1135712537>)

Возникновение рассуждений о парадоксе «живого-мертвого» кота связано с тем, что система рассматривается в связи с окружением, фактически в условиях непрерывного

получения информации о ее состоянии, что, разумеется, приводит к нарушению интерференции:

*«Если кота куда-то сажают, то это уже не чистое состояние (оно не описывается вектором состояния), и разговоры о суперпозиции состояний теряют смысл».* (Доронин)

То есть, всякая связь, взаимодействие кота с коробкой, наблюдателями, видеокамерой и даже просто возможность в любом самом невинном виде получить информацию о текущем состоянии кота делает его состояние запутанным с окружением и нарушает суперпозицию.

### **Сходство шредингеровского кота и фотона с точки зрения интерференции**

Итак, можно сделать однозначный вывод: состояние суперпозиции состояний шредингеровского кота не противоречит не только формализму квантовой механики, но и соответствует распространению этого формализма на макрообъекты.

Рассмотрим теперь возможность косвенного наблюдения суперпозиции состояний макрообъекта в том же виде, как оно возможно для квантовых объектов. Для наблюдения интерференции состояний «живой-мертвый» кот достаточно сложно представить экспериментальную установку. Для этого нам необходимо обеспечить, в частности, дифракцию кота, приводящую к появлению двух альтернативных суперпозиционных состояний. Эти состояния в рассматриваемой ситуации никак не связаны с нахождением кота в разных местах. Проявление этих состояний в виде волн также связано с определенными трудностями, поскольку отсутствует собственно движение объекта. Поэтому более разумно рассмотреть традиционную схему: суперпозиция двух путей движения (полета) кота. Это в наибольшей мере соответствует квантовому эксперименту с двумя щелями. Поскольку квантовая механика не делает явного различия между квантовыми и макрообъектами, то, очевидно, должна существовать суперпозиция и интерференция при двухщелевом эксперименте с котом. Не вдаваясь в технические детали такого эксперимента, необходимо сразу же отметить главное условие его осуществимости: не должно быть никакой даже принципиальной возможности *узнать* реальное положение кота в пространстве. Каким конкретно образом это может быть осуществлено, не так уж и важно, но это условие должно быть выполнено безусловно. Продолжая аналогию, можно предположить, что интерференция, подобная интерференции фотона, безусловно возможна и в том случае, если в качестве интерферирующего объекта будет выбран человек. И здесь, очевидно и безусловно, должно быть обеспечено условие принципиальной невозможности определения местонахождения интерферирующего объекта-человека в пространстве. Исключена *любая*, даже теоретическая, возможность спросить его и получить ответ: каким путем ты двигался? Только при таких условиях отсутствия взаимодействия с окружением возможно суперпозиционное состояние макрообъекта (человека, кота, крикетного шара).

### **Эксперименты, которые могли бы что-то прояснить**

Как уже было отмечено, объяснение эффектов интерференции является во многом противоречивым. Квантовая механика не дает полного объяснения наблюдаемого явления, а только на уровне математического формализма. Магия при описании этих явлений вряд ли может нас устроить. То, что объяснение с точки зрения здравого смысла пока не найдено, также слабое утешение. Интуитивно можно предположить, что такое объяснение все-таки должно существовать и ссылки на странности и загадочность квантовой механики не могут остановить исследователя.

Двухщелевой эксперимент в традиционном виде не дает видимых путей для раскрытия этих загадок. Однако нет никаких препятствий для придумывания *безумных* объяснений, которые все-таки лучше, чем отсутствие их вообще. Речь идет не о

формальных квантово-механических объяснениях эффектов интерференции на двух щелях, которые не подвергаются никаким сомнениям. Но эти объяснения приводят к «странным» и «загадочным» толкованиям с позиций здравого смысла и повседневного жизненного опыта. Как известно, множество явлений, бывших когда-то странными и загадочными, находили, в конце концов, вполне логически обоснованные и воспринимаемые здравым смыслом объяснения.

### **Гипотеза: вторая щель - резонатор фантома**

Рассмотрим двухщелевой эксперимент с корпускулярной точки зрения, которая наиболее сильно противоречит здравому смыслу и повседневному опыту. Как можно описать интерференцию, считая фотон частицей, а не волной? Как частица интерферирует? Что происходит, когда нарушается интерференция при попытке узнать траекторию частицы? Последнее обстоятельство не вызывает сомнений. Если мы пытаемся узнать траекторию частицы детектором на исключение (определение траектории по факту, что частица не зарегистрирована возле второй щели), то логически было бы странно ожидать интерференцию, поскольку одна из щелей оказывается закрытой и эксперимент фактически из двухщелевого превращается в однощелевой, интерференция невозможна. Это уже *другой* эксперимент. Поэтому такой метод фиксации пути неприемлем.

Мы, напомним, рассматриваем фотон как частицу. Фотон пролетает через щель и при этом «чувствует» наличие второй щели. Даже не пролетая через вторую щель (то есть, не находясь одновременно в двух местах), фотон получает от второй щели некоторую информацию о том, куда лететь. Фотон с позиции здравого смысла, безусловно, пролетает только через одну щель. Допустим, что мы угадали, через какую именно. Если вторая закрыта – фотон свободен в своем полете, он может лететь по любой траектории и попасть в любую точку экрана. Если вторая щель открыта – есть запрет на некоторые траектории. Фотон, как мы уверены, не пролетал через эту вторую щель – ни полностью, ни своей частью. Но эта вторая щель каким-то образом влияет на выбор фотоном его траектории. Теперь уже не все из них возможны. Какие-то из траекторий фотон пролететь не может. Но можно сказать и иначе: некоторые точки на экране для фотона недоступны. Можно предположить, что вторая щель играет роль своеобразного «резонатора». При пролете фотона через одну из щелей, вторая возбуждается и создает некоторое поле, некоторую субстанцию, частицу, либо волну, с которыми реальный фотон взаимодействует. Возможно, что он взаимодействует на протяжении всего своего полета. А может быть, получает «указания» от нее при вылете из своей щели и в дальнейшем использует в полете эту «информацию». Как видим, описание субстанции чем-то напоминает описание скрытой переменной (скрытого параметра) ЭПР. Эта субстанция (скрытая переменная) может быть нейтрализована, поглощена измерителем (нарушение интерференции).

Итак, при рассмотрении эффекта интерференции с корпускулярной точки зрения, в качестве создающего интерференцию фактора можно рассмотреть эффект «резонатора», генератора фантома частицы – некоей субстанции, «дающей» указание частице о ее предстоящем поведении, скрытого параметра в духе ЭПР.

Однако в традиционном двухщелевом эксперименте обнаружить этот фантом достаточно проблематично, поскольку возможности для его регистрации весьма ограничены. Можно, например, установить сразу после щелей оптические каналы (волноводы, оптоволокно, систему зеркал), позволяющие «развести» на более удаленные пути две интерферирующие волны. Затем их свести вновь на экране (фотопластинке), чтобы получить ту же самую интерференционную картину. Основной целью этого является явное выделение каналов, которые можно затем подвергнуть инструментальному исследованию. Если два вновь сведенных канала дадут ту же самую интерференционную

картину, то можно исследовать, что именно они излучают *одновременно*, если известно, что на вход системы поступил *единичный* фотон.

Более широкие возможности для исследования фантома предоставляет эксперимент, подобный двухщелевому. Это эксперимент на интерферометре Маха-Цандера.

### **Возможное объяснение феномена интерферометра Маха-Цандера.**

При взаимодействии фотона с полупрозрачным зеркалом фотон «резонирует» и излучает свою «фантомную» копию – волну второго уровня, обладающую свойствами электромагнитной волны, но несущую главным образом информацию о внутренних свойствах фотона. Эта скрытая переменная (скрытый параметр – волна), очевидно, должна переносить энергию, уменьшая энергию своего родительского фотона. К моменту встречи фотона и «фантома» оба они несколько раз меняют направление своего движения, и в момент встречи оказываются в противофазе, поэтому фотон поглощает свой «фантом» и переходит в первоначальное состояние. При отсутствии «фантома» фотон ведет себя как обычная частица (случайный исход). Отсюда следует:

1. Предположим, что в точке «встречи» фотонов на выходе интерферометра Маха-Цандера происходящее явление - интерференция. При таком объяснении при равенстве путей подавляется один из возможных исходов. Таким образом, можно предположить, что если изменять расстояние между одним из каналов и точкой «встречи», то угол интерференции будет изменяться. Следовательно, можно предположить, что при этом вероятность прохождения фотоном последнего полупрозрачного зеркала будет не 50 на 50, а в другом соотношении, зависящем от фазы второго из путей (второй «половинки» фотона, его фантома). Пока это не позволяет объяснить природу фантома, но позволяет обратить пристальное внимание на возможность его существования.

2. Для двухщелевого эксперимента невозможно проследить процессы, происходящие непосредственно перед ударом фотона об экран. В интерферометре Маха-Цандера это возможно, что позволяет предпринять целенаправленные попытки на исследование составляющих «разделенного» на две траектории фотона. Если поставить два датчика перед последним зеркалом, по одному на каждой траектории, то они будут фиксировать обе составляющие. Программа исследования может состоять, например, из следующих процедур. Запускающим событием, стартовым можно считать момент фиксации фотона в основном канале (им может быть произвольно выбран любой из двух каналов). Очевидно, что при этом в фантомном (втором) канале должна поступить недостающая часть системы, фантом. Можно предположить, что в основном он обладает сходными с фотоном свойствами, поскольку отражается от зеркал и вступает во взаимодействие с основным фотоном. Таким образом, есть основания считать, что фантомный канал должен также что-то зафиксировать. Необходимо исследовать всеми доступными средствами как фантом, так и собственно пришедший фотон.

3. Установить быстродействующий «вентиль» на втором, фантомном канале. Канал «закрыть» сразу после прохождения «фантома». После подачи фотона на вход интерферометра, дождаться прохождения фантома и закрыть канал фантома. То есть канал закрывается после того, как фантом предположительно, уже прошел его. Этим измерением предполагается проверить: на интерференцию влияет какая-то материальная субстанция, пришедшая на «встречу», фантом или «знание» фотона о том, что второй путь был открыт, когда по нему должен был пройти фантом.

4. Каналы движения фотонов тщательно заэкранировать: оптоволокно (световоды или каналы) поместить в мощные ферромагнитные, электростатические и прочие экраны. Как вариант, наоборот, создать вдоль оптоволокна мощные электро- и магнитные поля, в том числе ВЧ.

5. Очевидно, датчик, фиксирующий основной фотон перед выходным зеркалом, должен быть ближе к зеркалу, чтобы второй датчик успел зафиксировать информацию «фантомного» канала, если она есть.

6. Очевидно, необходимо постоянно производить проверку корректности установки (калибровку) в обычном режиме интерферометра Маха: при двух открытых каналах фотон дает только однозначный исход, при закрытии одного из каналов – равновероятные исходы.

7. Использовать для «разделения» фотона на части другие способы, помимо полупрозрачных зеркал, обладающие квантовой способностью к неопределенности путей. Как варианты можно рассмотреть другие эксперименты с интерферометром Маха-Цандера:

8. Использовать многоступенчатый интерферометр аналогичный интерферометру Маха-Цандера, в котором фотон будет подвергнут многократному воздействию полупрозрачного зеркала, что должно вызвать возникновение фантома более высокого порядка. Если каждый из фантомов «забирает» часть энергии основного фотона, то к моменту встречи его с основным фотоном, последний может иметь более заметные «дефекты». Возможно, что двухщелевой эффект наблюдаться не будет, поскольку фантом будет «не родным». Однако если обеспечить «встречу» фотона в обратном порядке со всеми его фантомами, на выходе установки должен быть зафиксирован однозначный исход.

9. Интересным представляется эксперимент, когда на выходе интерферометра Маха-Цандера может быть получена стандартная интерференционная картина: например, если вместо последнего полупрозрачного зеркала использовать фотопластинку.

Очевидно, данная концепция установки допускает и другие варианты.

## **Заключение**

Как было показано выше, нарушение интерференции вызывается фактически только одним обстоятельством: принципиальной возможностью знания состояния объекта, знание, в каком из состояний суперпозиции он находится перед моментом коллапса вектора состояния. При этом квантово-механический формализм одинаково непротиворечиво допускает суперпозиционные состояния не только квантовых объектов (микромир), но и макробъектов. Никаких противоречий со здравым смыслом и практической деятельностью такое описание не создает. Если возможно обеспечить условия возникновения квантово-механических явления в области макробъектов (макромира), эти явления имеют очевидное право на существование.

В частности, нет никаких технических, математических и квантово-механических препятствий для наблюдения интерференции макробъекта в том же самом виде, что и интерференция в двухщелевом эксперименте. Другими словами, крикетный шар (кот, слон, человек), пролетевшие в соответствующих условиях (ограничения знания о фактическом нахождении объекта в одном из возможных собственных суперпозиционных состояний) через аналогичную квантово-механической установке должны показать все те же явления, что и двухщелевой эксперимент. А именно: дифракция на некотором подобии щелей, волновую интерференцию и «попадание» макробъекта в определенные области соответствующего экрана. Нет никаких принципиальных препятствий для такого исхода.

Однако реальная сложность или даже невозможность проведения такого эксперимента вызвана, очевидно, невероятно высокой сложностью обеспечить замкнутость макроскопической системы, ее изолированность от окружения, вызывающего процессы декогеренции, обеспечении ее нелокального суперпозиционного состояния. Тем не менее, принципиально никаких ограничений к этому нет.

Кроме того, суперпозиция состояний может рассматриваться в самом широком квантово-механическом смысле: все альтернативные (взаимоисключающие,

некоммутирующие) состояния любого макроскопического объекта могут быть описаны в виде вектора состояния. Не является исключением и парадокс шредингеровского кота. В реальности вряд ли возможно обеспечить полную изоляцию системы от окружения, поэтому для внешнего наблюдателя всегда существует принципиальная *возможность* получить информацию о фактическом состоянии кота, что исключает какую бы то ни было возможность получить чистое суперпозиционное состояние. На это необходимо обратить самое пристальное внимание. Речь идет не просто об изоляции системы с котом от окружающего мира и внешнего наблюдения. Речь идет о более широком, фундаментальном и принципиальном обстоятельстве. Каким образом, через какие механизмы объективная реальность регулирует процессы суперпозиции в зависимости от гипотетической, призрачной, формальной *возможности* получить знание о состоянии системы – сказать трудно. Однако именно это обстоятельство однозначно определяет возможность возникновения суперпозиционного состояния в системе (неважно, квантовой или макроскопической).

Справедливости ради, следует отметить и обратное обстоятельство. Какими бы строгими ни были рассуждения о квантово-механическом формализме суперпозиции, есть серьезное возражение против него. Хотя мы не можем изолировать кота от окружения и обеспечить безусловную принципиальную невозможность выяснения его состояния в суперпозиции «жив-мертв», мы допустили, что это, тем не менее, возможно. Такая возможность «знать» не позволяет нам осуществить интерференцию кота и косвенно наблюдать его состояние суперпозиции, но теоретически ее можно исключить. Однако в этом случае даже при полной и принципиальной невозможности определить состояние «жив-мертв» мы априорно знаем, что он не смотря ни на что либо жив, либо мертв. Это неотъемлемое свойство живого существа. А тем более существа, обладающего сознанием. Это исключительный, особый макрообъект. Каким бы ни было его состояние сознания или жизни, он определенно может быть либо жив, либо мертв. Это, возможно, единственный макрообъект, обладающий взаимоисключающими состояниями, в которых он не может находиться *одновременно*. Знаем ли мы о точном его состоянии или нет, тем не менее, это не дает нам оснований утверждать, что они оба реальны. То есть в данном случае незнание одного из *этих* состояний объекта не приводит к появлению их суперпозиции. Формально мы, конечно, можем допустить их сосуществование, но реальность и здравый смысл исключают такую возможность. Следовательно, для живого объекта (или объекта, обладающего сознанием) состояние суперпозиции и явление интерференции невозможны даже при отсутствии знания и отсутствия запутанности с окружением. А раз так, то явление суперпозиции является в данном случае *чистым* математическим (квантово-механическим) формализмом. Подобное исключение из правила позволяет поставить под сомнение и все правило целиком:

Принципиальная невозможность знать состояние фотона (одно из возможных суперпозиционных) должна допускать, что на самом деле это состояние есть и оно строго однозначно, а не является суперпозицией одновременно присущих фотону состояний.

Действительно, если даже обеспечить все необходимые условия для возникновения суперпозиционного состояния «жив-мертв» (чистое состояние), то с логической точки зрения мы *не можем допустить* реального возникновения такого состояния: одновременно «жив и мертв». Вместо этого непротиворечиво можно принять это состояние суперпозиции, как отсутствие нашего знания о состоянии «жив» или «мертв» и замене его на *формальное, вероятностное* псевдо-суперпозиционное состояние. А поскольку квантовая механика проводит аналогию между квантовой и макроскопической суперпозицией, то этот вывод в равной мере может быть отнесен и к суперпозиции квантовой.

***Квантовая суперпозиция ставится под сомнение: суперпозиция – это не реальное явление, а математический формализм, правильно описывающий реальность.***

## Литература

Дата доступа ко всем URL: 01.11.2015

1. Хокинг С., Пенроуз Р., Природа пространства и времени. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000, 160 стр.
2. Боумейстер Д., Экерт А., Цайлингер А., Физика квантовой информации. - <http://quantmagic.narod.ru/Books/Zeilinger/g1.djvu>
3. Садбери А., Квантовая механика и физика элементарных частиц. – М.: Мир, 1989
4. Заречный М.И., Квантовая и мистическая картины мира, 2004, <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL122004/p2301.html>  
[http://www.its.profdiplom.ru/public\\_11.html](http://www.its.profdiplom.ru/public_11.html)
5. Пенроуз Роджер, Новый ум короля: О компьютерах, мышлении и законах физики: Пер. с англ. / Общ. ред. В.О.Малышенко. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 384 с.  
Оригинал статьи:  
Roger Penrose, The Emperor's New Mind. Concerning Computers, Minds and The Laws of Physics. Oxford University Press, 1989.
6. Vassialuppi G., Роль декогеренции в квантовой теории: Перевод М.Х.Шульман. - Институт истории и философии науки и техники (Париж) - [http://quantum3000.narod.ru/translations/decohere\\_stan.htm](http://quantum3000.narod.ru/translations/decohere_stan.htm)
7. Хокинг С., Краткая история времени от большого взрыва до черных дыр. – Санкт-Петербург, 2001
8. Цыпенюк Ю.М., Соотношение неопределенностей или принцип дополнительности? – М.: Природа, №5, 1999, с.90
9. Белинский А.В., Квантовая нелокальность и отсутствие априорных значений измеряемых величин в экспериментах с фотонами, - УФН, т.173, №8, август 2003.
10. Менский М.Б., Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов. – УФН, Том 170, № 6, 2000 г.
11. Путенихин П.В., Парадоксы квантовой суперпозиции в макром мире, Квантовая Магия, 3, 3101 (2006), [http://samlib.ru/editors/p/putenihin\\_p\\_w/super.shtml](http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/super.shtml)