

Аннотация

Величайшей, даже главной загадкой физики является эксперимент Юнга по интерференции (двухщелевой эксперимент). Невозможно объяснить его, допуская корпускулярность фотона. Но и признание у фотона волновых свойств так же не позволяет непротиворечиво объяснить интерференционную картину. С одной стороны, фотон всегда оставляет на фотопластинке точку, что несовместимо с волновой природой фотона. С другой стороны, фотон фактически одновременно проходит через обе щели, что несовместимо с его корпускулярной природой.

Многие физические и научные загадки бывают крайне сложны как в описании, так и в постановке эксперимента, но позволяют привести объяснения, не противоречащие логике и здравому смыслу. Эксперимент с интерференцией, напротив, является предельно простым в исполнении и невозможным в объяснении. Все технические характеристики установки просты в описании (источник, интерференционные решётки, принципы явления и даже математические расчёты результатов), но логическое объяснение, с позиции здравого смысла, увязка всех их в единое целое невозможны.

Эта непостижимая интерференция

Интерференция или эксперимент с двумя щелями, согласно Фейнману, «заключает в себе сердце квантовой механики» [5, с.19] и является квинтэссенцией принципа квантовой суперпозиции. Принцип интерференции, как основной принцип линейной волновой оптики, впервые чётко сформулировал Томас Юнг в 1801 году. Он же впервые в 1803 году ввёл и термин «интерференция». Учёный так наглядно поясняет открытый им принцип (эксперимент, известный в наше время под названием «двухщелевой эксперимент Юнга», <http://elkin52.narod.ru/biograf/jng6.htm>):

«Для получения эффектов наложения двух порций света необходимо, чтобы они исходили из одного источника и приходили в одну и ту же точку по разным путям, но по близким между собой направлениям. Для отклонения одного или обеих частей пучка можно использовать дифракцию, отражение, преломление или комбинацию этих эффектов, но самый простой способ, если пучок однородного света [от первой щели] (один цвет или длина волны) падает на экран, в котором сделаны два очень маленьких отверстия или щели, которые можно рассматривать как центры расхождения, от которых свет благодаря дифракции рассеивается во всех направлениях».

Современная экспериментальная установка состоит из источника фотонов, 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:



Рис.1 Интерференционные полосы

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 [24, с.79].

Интересным свойством эксперимента с двумя щелями является то, что интерференционную картину можно «собрать» по одной частице – то есть, установив настолько низкую интенсивность источника, что каждая частица будет находиться «в полёте» в установке

одна и сможет интерферировать только сама с собой. В этом случае у нас появляется соблазн спросить себя, через какую из двух щелей частица пролетает «на самом деле» [5, с.19]. Заметим, что две разные частицы интерференционную картину не создают.

В чём же состоит загадочность, противоречивость, абсурдность объяснения явления интерференции? Они разительно отличаются от парадоксальности множества других теорий и явлений, таких как специальная теория относительности, квантовая телепортация, парадокс запутанных квантовых частиц и других. На первый взгляд в объяснениях интерференции всё просто и очевидно. Рассмотрим эти объяснения, которые можно разделить на два класса: объяснения с волновой и объяснение с корпускулярной (квантовой) точек зрения.

Прежде, чем мы начнём анализ, отметим, что под парадоксальностью, противоречивостью, абсурдностью явления интерференции мы подразумеваем несовместимость описания этого квантовомеханического явления формальной логике и здравому смыслу. Смысл этих понятий, в каком мы их здесь применяем, изложен в приложениях к данной статье.

Интерференция с волновой точки зрения

Самым распространенным и безупречным является объяснение результатов двухщелевого эксперимента с волновой точки зрения [21, с.39]:

«Если разность пройденных волнами расстояний равна половине нечётного числа длин волн, то колебания, обусловленные одной волной, достигнут гребня в тот момент, когда колебания другой волны достигнут впадины, а, следовательно, одна волна уменьшит возмущение, создаваемое другой, и даже может полностью его погасить. Это иллюстрирует рис.2, где показана схема эксперимента с двумя щелями, в котором волны от источника А могут достичь линии ВС на экране, только пройдя через одну из двух щелей Н1 или Н2 в препятствии, расположенном между источником и экраном. В точке X на линии ВС разность длин путей равна $АН1X - АН2X$; если она равна целому числу длин волн, возмущение в точке X будет большим; если она равна половине нечётного числа длин волн, возмущение в точке X будет малым. На рисунке показана зависимость интенсивности волны от положения точки на линии ВС, которая связана с амплитудами колебаний в этих точках».

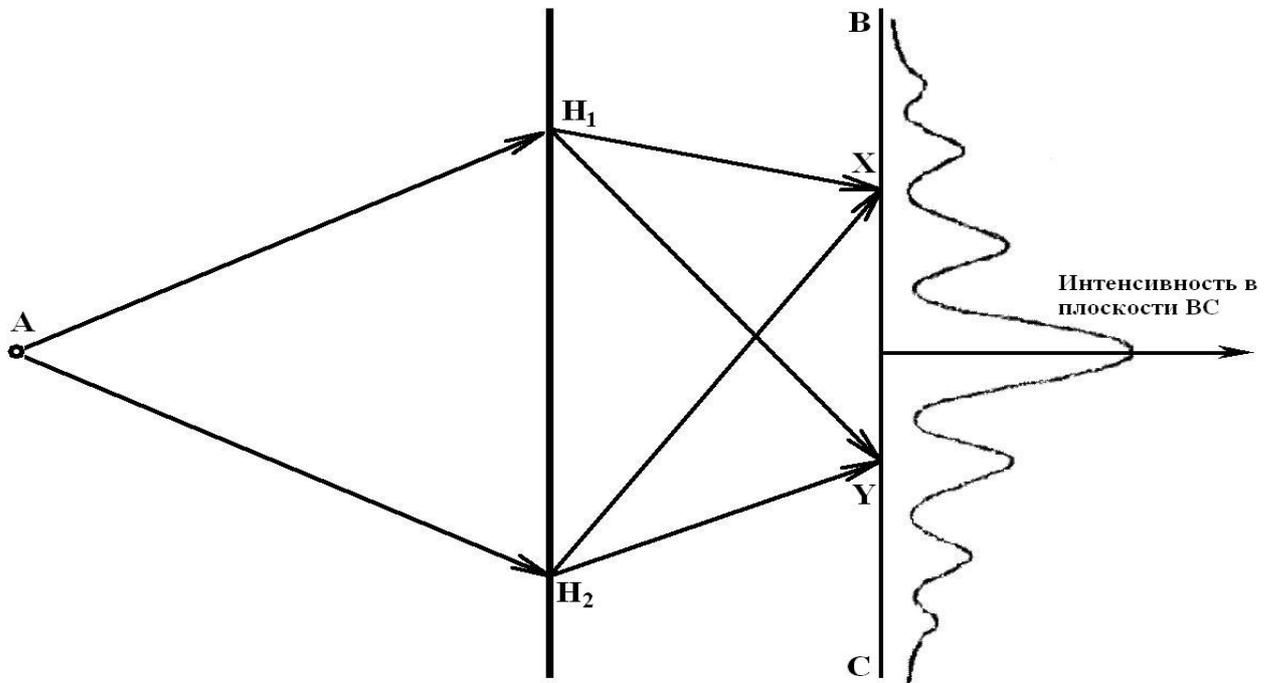


Рис.2. Интерференционная картина с волновой точки зрения

Казалось бы, описание явления интерференции с волновой точки зрения ни в коей мере не противоречит ни логике, ни здравому смыслу. Однако фотон, вообще-то, считается квантовой **частицей**. Если он и проявляет волновые свойства, то, тем не менее, должен оставаться самим собой – фотоном. Иначе, при одном всего лишь волновом рассмотрении явления мы фактически уничтожаем фотон как элемент физической реальности. При таком рассмотрении получается, что

фотона как такового... не существует! Фотон не просто проявляет волновые свойства – здесь он и есть волна, в которой нет ничего от частицы. Иначе в момент раздвоения волны мы должны признать, что через каждую из щелей проходит полчастицы - фотона, полфотона. Но тогда должны быть возможны эксперименты, способные «поймать» эти полфотона. Однако никому и никогда не удавалось зарегистрировать эти самые полфотона.

Итак, волновая трактовка явления интерференции исключает саму мысль о том, что фотон – частица. Следовательно, рассматривать в этом случае фотон как частицу – абсурдно, нелогично, несовместимо со здравым смыслом. По логике вещей нам следовало бы предположить, что из точки А фотон вылетает как частица. На подлёте к препятствию он вдруг *превращается* в волну! Проходит через щели как волна, разделившись на два потока. Иначе нам нужно поверить в то, что одна *целая* частица одновременно проходит через две щели, поскольку допустить *разделение* её на две частицы (половинные) мы не имеем права. Далее две полуволны вновь *соединяются* в целую частицу. При этом *не существует* никакой возможности подавить одну из полуволн. Вроде бы есть *две* полуволны, но уничтожить одну из них никому не удалось. Каждый раз каждая из этих полуволн при регистрации оказывается *целым* фотоном. Часть всегда без всяких исключений оказывается целым. То есть, представление о фотоне как о волне должно допускать возможность «поймать» каждую из полуволн именно как половину фотона. Но этого не происходит. Через каждую из щелей проходит половина фотона, но регистрируется только целый фотон. Половина равна целому? Не намного логичнее и здравомысляще выглядит и трактовка одновременного присутствия фотона-частицы в двух местах сразу.

Напомним, что математическое описание волнового процесса полностью соответствует результатам всех без исключения экспериментов по интерференции на двух щелях.

Интерференция с корпускулярной точки зрения

С корпускулярной точки зрения объяснение движения «половинок» фотона удобно использовать комплексные функции. Функции эти проистекают из основного понятия квантовой механики – вектора состояния квантовой частицы (здесь – фотона), его волновой функции, которые имеют ещё одно название – амплитуда вероятности. Вероятность того, что фотон попадёт в некоторую точку на экране (фотопластинке) в случае двухщелевого эксперимента равна квадрату суммарной волновой функции, для двух возможных траекторий движения фотона, образующих суперпозицию состояний.

«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 θ – 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» [12, с.198].

Математически все логично и ясно: по правилам вычисления комплексных выражений мы получаем именно такую волнообразную интерференционную кривую. Здесь не требуется никаких трактовок, пояснений – одни только рутинные математические вычисления. Но если попытаться представить, каким же всё-таки путем, какими траекториями двигался фотон (или 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» [9].

Действительно, математические выражения с комплексными функциями просты и наглядны. Однако они описывают только внешнее проявление процесса, лишь его результат, ничего не говоря о том, что происходит в физическом смысле. 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 невозможно. Например, Садбери, анализируя явление, пишет [21, с.42]:

«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»

Он приходит к такому же выводу о невозможности прохождения одной частицы одновременно через две щели: «частица должна проходить либо через одну, либо через другую щель», отмечая ее очевидную корпускулярную структуру. Частица не может проходить одновременно через две щели, но она не может пройти и либо через одну, либо через другую. Несомненно, электрон – частица, о чём свидетельствуют точки от вспышек на экране. И эта частица, несомненно, не могла пройти только через одну из щелей. При этом электрон, несомненно, не был разделён на две части, на две половинки, каждая из которых должна была в этом случае иметь половинную массу электрона и половинный заряд. Таких полу-электронов никто и никогда не наблюдал. Значит, электрон не мог, поделившись на две части, раздвоившись, одновременно пересечь обе щели. Он, как нам разъясняют, оставаясь целым, *одновременно* проходит через две разные щели. На две части не делится, но одновременно через две щели проходит. В этом и состоит абсурдность квантово-механического (корпускулярного) описания физического процесса интерференции на двух щелях. Напомним, что математически этот процесс описывается безупречно. Но физический процесс – совершенно нелогично, вопреки здравому смыслу. Причём, как водится, виноват здравый смысл, который не может осознать, как это: на двое не делился, но в два места попал.

С другой стороны, невозможно предположить и обратное: что фотон (или электрон) каким-то неведомым пока образом, проходит всё-таки через одну из двух щелей. Почему тогда частица попадает в определённые 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 вынужденно всё-таки рассматривать одновременность прохождения частицей обеих щелей. Иначе пришлось бы рассматривать частицу 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. Если частица не зарегистрирована возле одной из щелей, значит она прошла через другую. Но в этом случае она уже вполне может попасть в «запрещённую» точку экрана, то есть, в точку, в которую она ни за что не попала бы, будь вторая щель открытой. Хотя, казалось бы, ничто не должно мешать этим не задержанным частицам создать «половинную» интерференционную картину. Однако этого не происходит: если одна из щелей закрыта, частицы словно получают «пропуск» для попадания в «запретные» области экрана. Если же открыты обе щели, то частица, якобы прошедшая через одну щель, лишена возможности попасть в эти «запретные» области. Она будто бы чувствует, как вторая щель «смотрит» на неё и запрещает движение в определённых направлениях.

Признано, что интерференция возникает только в опытах с волной или частицами, проявляющими в этом опыте *лишь* волновые свойства. Каким-то магическим образом частица выставляет напоказ экспериментатору свою волновую или корпускулярную стороны, фактически меняя их на ходу, в полёте. Если поглотитель ставится сразу после одной из щелей, то частица как волна проходит через обе щели вплоть до поглотителя, продолжая затем свой полет уже как частица. При этом поглотитель, как оказывается, не отбирает у частицы даже малой части её энергии. Хотя очевидно, что через перекрытую щель хотя бы часть частицы все-таки должна была пройти.

Как видим, ни одно из рассмотренных объяснений физического процесса не выдерживает критики с логической точки зрения и с позиции здравого смысла. Господствующий ныне корпускулярно-волновой дуализм даже частично не позволяет вместить в себя интерференцию. Фотон не просто проявляет либо корпускулярные, либо волновые свойства. Он проявляет их

одновременно, причём эти проявления взаимно *исключают* друг друга. «Гашение» одной из полуволн тут же превращает фотон в частицу, которая «не умеет» создавать интерференционную картину. Наоборот, две открытые щели превращают фотон в две полуволны, которые затем, соединяясь, превращаются в целый фотон, демонстрируя в очередной раз загадочную процедуру овеществления волны.

Опыты, подобные двухщелевому эксперименту

В эксперименте с двумя щелями несколько затруднительно экспериментально контролировать траектории движения «половинок» частиц, поскольку щели находятся относительно близко друг от друга. Вместе с тем существует похожий, но более наглядный эксперимент, который позволяет «развести» фотон по двум явно различимым траекториям. В этом случае ещё нагляднее становится абсурдность представлений, что фотон одновременно проходит по двум каналам, между которыми может быть расстояние в метры и более. Такой эксперимент может быть проведен с помощью интерферометра Маха-Цандера. Эффекты, наблюдаемые при этом схожи с эффектами, наблюдаемыми в двухщелевом эксперименте. Вот как их описывает Белинский [4]:

«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.

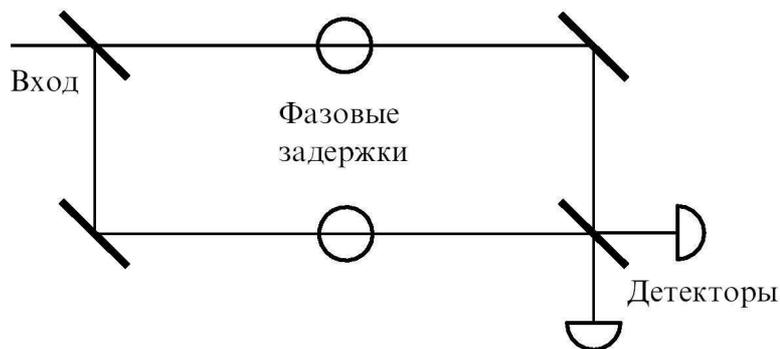


Рис.3. Схема интерферометра Маха-Цандера.

Вернём светоделитель. Вероятность фотоотчетов на детекторах описывается функцией $1 + \cos(\Phi_1 - \Phi_2)$, где Φ_1 и Φ_2 – фазовые задержки в плечах интерферометра. Знак зависит от того, каким детектором ведётся 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. Её нельзя объяснить с позиций привычных пространственных интуиций здравого смысла, обычно присутствующих в макромире» [4].

Если для фотона на входе свободны оба пути, то на выходе фотон ведёт 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 [12, с.208] (описание весьма красноречивое, поэтому приведём его практически 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.



Рис.4. Два пика волновой функции нельзя считать просто вероятностными весами локализации фотона в одном или другом месте. Два маршрута, избираемые фотоном, можно заставить интерферировать друг с другом.

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 отражённый фотон, другой – фотон, прошедший сквозь зеркало. Кроме того, со временем расстояние между пиками становится всё больше и больше, увеличиваясь беспрестанно. Представьте себе, что эти две части волновой функции уходят в пространство, и что мы ждём 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, разделённым расстоянием в один световой год!

Есть ли какое-нибудь основание принимать такую картину всерьёз? 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 своём пути полностью посеребрянное зеркало, наклоненное под таким углом, чтобы свести обе части вместе, и что в точке встречи двух частей помещено еще одно полупосеребрянное зеркало, наклоненное под таким же углом, как и первое зеркало. Пусть на прямых, вдоль которых распространяются части фотонного пучка, расположены два фотоэлемента (рис.4). 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 существовании фотона между первой и последней встречей с полупрозрачным 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 помещён 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 определённых местах» не полностью характеризует состояние фотона: нам необходимо отличать состояние $\psi_t + \psi_b$, например, от состояния $\psi_t - \psi_b$ (или, например, от состояния $\psi_t + i\psi_b$), где ψ_t и ψ_b теперь относятся к положениям фотона на каждом из двух маршрутов (соответственно «прошедшем» и «отражённом»). Именно такого рода различие определяет, достигнет ли фотон с достоверностью детектора А, пройдя до второго полупосеребренного 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 всерьёз 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». [12, 18]

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. Как и когда появляется интерференционная картина, в общем-то, понятно. Но при этих известных условиях, тем не менее, иногда интерференционная картина не появляется. Что-то препятствует её возникновению. Заречный [9] 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 на него не смотрим, он одновременно проходит через две щели, и распределение их на экране совсем не такое, чем тогда, когда мы на них смотрим!».

То есть нарушение интерференции происходит вследствие наличия знания о траектории движения частицы. Если нам известна траектория частицы, то интерференционная картина не возникает. Vaccigaluppi [3] 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).

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. Весьма наглядно это демонстрирует опыт Цыпенюка [25]:

«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 решётке, аналогично тому, как происходит дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости. Падающий пучок А (его скорость в области взаимодействия составляет всего 2 м/с) расщепляется вначале на два пучка В и С, 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».

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 заселённость в пучках В и С атомом с электронным состоянием $|2\rangle$ и $|3\rangle$: в пучке В преимущественно находятся атомы в состоянии $|2\rangle$, в пучке С – атомы в состоянии $|3\rangle$. Таким довольно изошрённым способом, оказались помеченными атомные пучки, претерпевающие затем интерференцию.

Узнать о том, по какой траектории двигался атом, можно потом, определив его электронное состояние. Следует ещё 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 запоминали, каким путём они двигались» [25].

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 её в некоторое, свойственное корпускуле состояние, то при проведении эксперимента для выявления её волновых свойств все наши настройки будут уничтожены.

Заметим, что эта удивительная особенность интерференции не противоречит ни логике ни здравому смыслу.

Квантоцентрическая физика и Уилер

В центре квантово-механической системы современности стоит квант и вокруг него, как в геоцентрической системе Птолемея, вращаются квантовые звёзды и квантовое Солнце. Описание самого, пожалуй, простого квантово-механического эксперимента показывает, что математика квантовой теории безупречна, хотя описание собственно физики процесса в ней полностью отсутствует.

Главный герой теории – квант лишь на бумаге, в формулах обладает свойствами кванта, частицы. В экспериментах же он ведёт себя совсем не как частица. Он демонстрирует способность делиться на две части. Его постоянно наделяют различными мистическими свойствами и даже сравнивают со сказочными персонажами: «During this time the photon is «a great smoky dragon» which is only sharp at its tail (at the beam splitter 1) and at its mount where it bites the detector» (Уилер). Эти части, половинки «большого огнедышащего дракона» Уилера никогда и никем не были обнаружены, а свойства, которыми должны были бы обладать эти половинки квантов, противоречат самой теории квантов.

С другой стороны, кванты ведут себя и не совсем как волны. Да, они, казалось бы, «умеют распадаться» на части. Но всегда при любой попытке их зарегистрировать мгновенно сливаются в одну волну, которая вдруг оказывается схлопнувшейся в точку частицей. Более того, попытки заставить частицу проявить только волновые или только корпускулярные свойства, терпят неудачу. Интересным вариантом загадочных экспериментов по интерференции являются эксперименты с отложенным выбором Уилера:

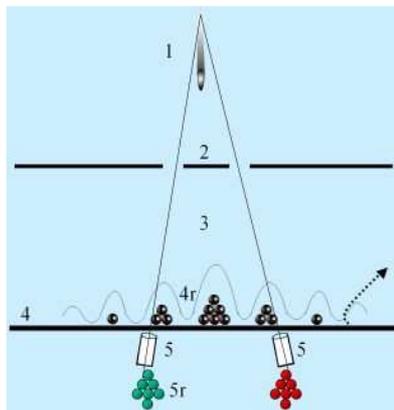


Рис.5. Базовый вариант отложенного выбора

1. Фотон (или любая другая квантовая частица) посылается по направлению к двум щелям.

2. Фотон проходит щели, не будучи наблюдаемым (обнаруженным), через одну щель, либо другую щель, либо через обе щели (логически это все возможные альтернативы). Чтобы получить интерференцию, мы предполагаем, что «нечто» должно пройти через обе щели; Чтобы получить распределение частиц, мы предполагаем, что фотон должен пройти или через одну щель, или через другую. Какой бы выбор фотон не делал, он «должен» сделать его в тот момент, когда он проходит через щели.

3. После прохождения щелей, фотон движется к задней стенке. У нас имеется два различных способа детектирования фотона у «задней стенки».

4. Во-первых, у нас есть экран (или любая другая система детектирования, которая способна различать горизонтальную координату упавшего фотона, но не в состоянии определить, откуда пришел фотон). Экран может быть удален, как показано штрихованной стрелкой. Он может быть удален быстро, очень быстро, *после того*, как фотон прошел две щели, но *до того*, как фотон достигает плоскости экрана. Другими словами, экран можно удалить в тот отрезок времени, когда фотон перемещается в области 3. Или же мы можем оставить экран на месте. В этом и состоит выбор экспериментатора, который *откладывает* до того момента, когда фотон прошел щели (2), каким бы способом он это ни делал.

5. Если экран удален, мы обнаруживаем два телескопа. Телескопы очень хорошо сфокусированы на наблюдение только узких областей пространства вокруг только одной щели каждый. Левый телескоп наблюдает за левой щелью; правый телескоп наблюдает за правой щелью. (Механизм\метафора телескопа обеспечивает нашу уверенность в том, что если мы смотрим через телескоп, мы увидим вспышку света только в том случае, если фотон обязательно прошел - полностью или хотя бы частично - через щель, на которую сфокусирован телескоп; в противном случае мы не увидим фотон. Таким образом, наблюдая фотон при помощи телескопа, мы получаем информацию "который путь" о пришедшем фотоне.)

Теперь представьте, что фотон находится в пути в области 3. Фотон уже прошел через щели. У нас еще есть возможность выбрать, например, оставить экран на месте; в этом случае мы не узнаем, через которую щель прошел фотон. Или же мы можем решить убрать экран. Если мы удалим экран, мы ожидаем увидеть вспышку в одном телескопе или другом (или в обоих, хотя этого никогда не происходит) для каждого отправленного фотона. Почему? Потому что фотон должен пройти либо через одну, либо через другую, либо через обе щели. Это исчерпывает все возможности. Наблюдая за телескопами, мы должны увидеть одно из следующего:

вспышку у левого телескопа и никакой вспышки у правого, что говорит о том, что фотон прошел через левую щель; или

вспышку у правого телескопа и никакой вспышки у левого телескопа, что говорит о том, что фотон прошел через правую щель; или

слабые вспышки половинной интенсивности у обоих телескопов, что говорит о том, что фотон прошел через обе щели.

Это все возможности.

Квантовая механика говорит нам, что мы получим на экране: кривую 4г, которая в точности похожа на интерференцию двух симметричных волн, идущих от наших щелей. Квантовая механика также говорит, что мы получим при наблюдении фотонов телескопами: кривую 5г, которая в точности соответствует точечным частицам, прошедшим через ту или иную щель, и попавшим в соответствующий телескоп.

Обратим внимание на разницу в конфигурациях нашей экспериментальной установки, определяемых нашим выбором. Если мы выбираем оставить экран на месте, мы получаем распределение частиц, соответствующее интерференции двух гипотетических волн от щелей. Мы могли бы сказать (хотя и с большой неохотой), что фотон двигался от своего источника к экрану через обе щели.

С другой стороны, если мы выберем убрать экран, мы получаем распределение частиц, совместимое с двумя максимумами, которые мы получаем, если наблюдаем движение точечной частицы от источника через одну из щелей к соответствующему телескопу. Частица "появляется" (мы видим вспышку) у одного телескопа или у другого, но не в какой-либо другой точке между ними вдоль направления экрана.

Суммируя, мы делаем выбор – узнать ли нам, через которую щель прошла частица, – выбирая или не выбирая использование для детектирования телескопов. Мы откладываем этот выбор до момента времени *после того* как частица «прошла через одну из щелей или обе щели», так сказать. Кажется парадоксальным, что наш поздний выбор решения о том, получать такую информацию или нет, на деле *сам определяет*, так сказать, прошла ли частица через одну щель или через обе. Если вы предпочитаете рассуждать именно так (а я этого не рекомендую), частица демонстрирует постфактум волновое поведение, если вы выбрали использовать экран; также частица демонстрирует постфактум поведение как точечный объект, если вы выбрали использовать телескопы. Таким образом, наш отложенный выбор способа регистрации частицы, казалось бы, определяет то, как частица на самом деле себя вела до регистрации.

(Росс Родес, Классический эксперимент Уилера по отложенному выбору, перевод П. В. Куракин, http://quantum3000.narod.ru/translations/dc_wheeler.htm).

Противоречивость модели кванта требует задаться вопросом «А, может быть, он всё-таки вертится?»

Почему подпрыгивает мяч?

Но почему мы должны считать загадку интерференции главной загадкой физики? Загадок в физике, в других науках и в жизни - множество. Что такого особенного в интерференции? В окружающем нас мире существует множество явлений, которые лишь на первый взгляд кажутся понятными, объяснёнными. Но стоит пройти шаг за шагом по этим объяснениям, как всё запутывается, возникает тупик. Чем они хуже интерференции, менее загадочны? Рассмотрим, например, такое привычное явление, с которым в жизни сталкивался каждый: подсакивание брошенного на асфальт резинового мяча. Почему он подсакивает, ударившись об асфальт?

Очевидно, что при ударе об асфальт мяч деформируется, сжимается. При этом давление газа в нём увеличивается. Стремясь расправиться, восстановить свою форму, мяч давит на асфальт и отталкивается от него. Вот, казалось бы, и всё, причина подсакивания выяснена. Однако приглядимся внимательнее. Для простоты оставим без рассмотрения процессы сжатия газа и восстановления формы мяча. Перейдём сразу к рассмотрению процесса в точке соприкосновения мяча и асфальта.

Мяч отскакивает от асфальта, поскольку две точки (на асфальте и на мяче) взаимодействуют: каждая из них давит на другую, отталкивается от неё. Вроде бы и здесь всё просто. Но зададимся вопросом: в чём состоит это давление? Как оно «выглядит»?

Углубимся в молекулярное строение вещества. Молекула резины, из которой сделан мяч, и молекула камня в асфальте давят друг на друга, то есть стремятся оттолкнуть друг друга. И опять всё вроде бы просто, но появляется новый вопрос: а что является причиной, источником явления «сила», которое принуждает каждую из молекул двигаться прочь, испытывать принуждение к движению от «соперницы»? Видимо, атомы молекул резины отталкиваются от

атомов, из которых состоит камень. Если ещё короче, упрощённое, то один атом отталкивается от другого. И снова: почему?

Переходим к атомному строению вещества. Атомы состоят из ядер и электронных оболочек. Вновь упростим задачу и будем считать (достаточно обоснованно), что атомы отталкиваются либо своими оболочками, либо своими ядрами, в ответ получая новый вопрос: как именно происходит это отталкивание? Например, электронные оболочки могут отталкиваться вследствие своих одинаковых электрических зарядов, поскольку одноимённые заряды отталкиваются. И вновь: почему? Как это происходит?

Что заставляет отталкиваться друг от друга, например, два электрона? Нужно идти всё дальше и дальше вглубь строения вещества. Но уже здесь вполне заметно, что любая наша выдумка, любое новое объяснение *физического* механизма отталкивания будет ускользать всё дальше и дальше, как горизонт, хотя формальное, математическое описание при этом всегда будет точным и ясным. И при этом мы всегда будем видеть, что отсутствие *физического* описания механизма отталкивания не делает этот механизм, промежуточную его модель абсурдными, нелогичными, противоречащими здравому смыслу. Они в определённой степени упрощённые, неполные, но *логичные, разумные, осмысленные*. В этом и состоит отличие объяснения интерференции от объяснений многих других явлений: описание интерференции в самой своей сути нелогично, противоестественно, противоречит здравому смыслу.

Квантовая запутанность, нелокальность, локальный реализм Эйнштейна

Рассмотрим ещё одно явление, считающееся противоречащим здравому смыслу. Это одна из удивительнейших загадок природы - квантовая запутанность (эффект запутывания, entangled, несепарабельность, нелокальность). Суть явления состоит в том, что две квантовые частицы после взаимодействия и последующего разделения (разнесения их в различные области пространства) сохраняют некое подобие информационной связи друг с другом. Наиболее известным примером этого является так называемый парадокс ЭПР. В 1935 году Эйнштейн, Подольский и Розен высказали идею, что, например, два связанных фотона в процессе разделения (разлёта) сохраняют такое подобие информационной связи. При этом квантовое состояние одного фотона, например, поляризация или спин может мгновенно передаваться на другой фотон, который при этом становится аналогом первого и наоборот. Производя измерение над одной частицей, мы в тот же момент, мгновенно определяем и состояние другой частицы, как бы далеко эти частицы друг от друга ни находились. Таким образом, связь между частицами носит принципиально нелокальный характер. Сущность нелокальности квантовой механики российский физик Доронин [7, 8] формулирует следующим образом:

«Насчёт того, что понимать под нелокальностью в КМ, то в научной среде, я считаю, сложилось некоторое согласованное мнение на этот счёт. Обычно под нелокальностью КМ понимают то обстоятельство, что КМ противоречит принципу локального реализма (его ещё часто называют принципом локальности Эйнштейна).

Принцип локального реализма утверждает, что если две системы А и В пространственно разделены, тогда при полном описании физической реальности, действия, выполненные над системой А, не должны изменять свойства системы В».

Отметим, что главным положением локального реализма в приведённой трактовке является отрицание взаимного влияния друг на друга пространственно разнесённых систем. Основным положением эйнштейновского локального реализма является невозможность влияния двух пространственно разнесённых систем друг на друга. Эйнштейн в описанном ЭПР-парадоксе предполагал косвенную зависимость состояния частиц. Эта зависимость формируется в момент запутывания частиц и сохраняется до конца опыта. То есть, случайные состояния частиц возникают в момент их разделения. В дальнейшем они сохраняют полученные при запутывании состояния, и «хранятся» эти состояния в неких элементах физической реальности, описываемых «дополнительными параметрами», поскольку измерения над разнесёнными системами не могут влиять друг на друга:

«Но одно предположение представляется мне бесспорным. Реальное положение вещей (состояние) системы S_2 не зависит от того, что проделывают с пространственно отделимой от неё системой S_1 ». [26, с.290]

«...так как во время измерения эти две системы уже не взаимодействуют, то в результате каких бы то ни было операций над первой системой, во второй системе уже не может получиться никаких реальных изменений». [27]

Однако в действительности измерения в удаленных друг от друга системах каким-то образом влияют друг на друга. Аллен Аспект [1, 2] так описал это влияние:

« i. Фотон v_1 , который не имел явно определённой поляризации перед её измерением, получает поляризацию, связанную с полученным результатом, во время его измерения: это не удивительно.

ii. Когда измерение на v_1 сделано, фотон v_2 , который не имел определённой поляризации перед этим измерением, проектируется в состояние поляризации, параллельное результату измерения на v_1 . Это очень удивительно, потому что это изменение в описании v_2 происходит мгновенно, безотносительно расстояния между v_1 и v_2 в момент первого измерения.

Эта картина находится в противоречии с относительностью. Согласно Эйнштейну, событие в данной области пространства-времени не может находиться под влиянием события, произошедшего в пространстве-времени, которое отделено пространственно-подобным интервалом. Неразумно пытаться найти более приемлемые картины, чтобы «понять» ЭПР-корреляции. Это такая картина, которую мы рассматриваем теперь».

Эта картина и получила название «нелокальность». С одной стороны, нелокальность отражает некоторую связь между разделёнными частицами, но с другой стороны эта связь, как признано, не является релятивистской, то есть, хотя влияние измерений друг на друга распространяется со сверхсветовой скоростью, но при этом как таковой нет никакой передачи информации между частицами. Получается, что влияние измерений друг на друга есть, но передачи этого влияния нет. На основании этого делается вывод, что нелокальность в сущности не противоречит специальной теории относительности. Передаваемую (условную) информацию между ЭПР-частицами называют иногда «квантовой информацией».

Итак, нелокальность – это явление, противопоставленное локальному реализму (локализму) Эйнштейна. При этом для локального реализма как данность принимается лишь одно: отсутствие традиционной (релятивистской) информации, передаваемой от одной частицы к другой. Иначе следовало бы говорить о «призрачном дальном действии», как его назвал Эйнштейн. Присмотримся к этому «дальном действию», насколько оно противоречит специальной теории относительности и самому локальному реализму. Во-первых, «призрачное дальное действие» ничуть не хуже квантово-механической «нелокальности». Действительно, ни там, ни там нет как таковой передачи релятивистской (досветоскоростной) информации. Поэтому «дальное действие» так же не противоречит специальной теории относительности, как и «нелокальность». Во-вторых, призрачность «дального действия» не более призрачна, чем квантовая «нелокальность». В самом деле, в чем состоит суть нелокальности? В «выходе» на другой уровень реальности? Но это ни о чём не говорит, а лишь допускает различные мистические и божественные расширенные толкования. Никакого сколь-нибудь разумного и развернутого *физического* описания (а тем более, объяснения) нелокальности не имеет. Имеется лишь простая констатация факта: два измерения *коррелированы*. А что можно сказать об эйнштейновском «призрачном дальном действии»? Да ровно то же самое: нет никакого сколь-нибудь разумного и развернутого *физического* описания, такая же простая констатация факта: два измерения *связаны* друг с другом. Вопрос фактически сводится к терминологии: нелокальность или призрачное дальное действие. И признанию, что ни то, ни другое специальной теории относительности формально не противоречит. Но это означает ни что иное, как непротиворечивость и самого локального реализма (локализма). Главное его утверждение, сформулированное Эйнштейном [26, с.290], безусловно, остается в силе: в релятивистском смысле между системами S_2 и S_1 нет никакого взаимодействия, гипотеза о «призрачном дальном действии» не вносит в локальный реализм Эйнштейна ни малейших противоречий. Наконец, сама попытка отказа от «призрачного дального действия» в локальном реализме логически требует такого же отношения к её квантово-механическому аналогу – нелокальности. В противном случае это становится двойным

стандартом, ничем не обоснованным двойным подходом к двум теориям («Что позволено Юпитеру, не позволено быку»). Вряд ли такой подход заслуживает серьёзного рассмотрения.

Таким образом, гипотезу о локальном реализме Эйнштейна (локализме) следует сформулировать в более полном виде:

«Реальное состояние системы S_2 в релятивистском смысле не зависит от того, что предельвают с пространственно отдалённой от неё системой S_1 ».

С учетом этой небольшой, но важной поправки теряют смысл все ссылки на нарушения «неравенств Белла» (см. ниже), как доводы, опровергающие локальный реализм Эйнштейна, который нарушает их с тем же успехом, что и квантовая механика [14, 16].

Как видим, в квантовой механике суть явления нелокальности описывается внешними признаками, но не объясняется его внутренний механизм, что послужило основанием для утверждения Эйнштейна о неполноте квантовой механики.

Вместе с тем явления запутанности может иметь вполне простое объяснение, не противоречащее ни логике, ни здравому смыслу. Поскольку две квантовые частицы ведут себя так, будто «знают» о состоянии друг друга, передают одна другой некую неуловимую информацию, можно выдвинуть гипотезу, что передача осуществляется неким «чисто материальным» носителем (не вещественным). Этот вопрос имеет глубокую философскую подоплёку, относящуюся к основам реальности, то есть той первичной субстанции, из которой создан весь наш мир. Собственно, эту субстанцию и следовало бы назвать материей, наделив её свойствами, исключающими прямое её наблюдение [19]. Весь окружающий мир соткан из материи, и наблюдать его мы можем, лишь взаимодействуя с этой тканью, производной от материи: веществом, полями. Не вдаваясь в детали этой гипотезы, подчеркнём лишь, что автор отождествляет материю и эфир, считая их двумя названиями одной и той же субстанции. Объяснить устройство мира, отказываясь от первоосновы – материи, невозможно, поскольку дискретность вещества сама по себе противоречит и логике и здравому смыслу. Нет разумного и логичного ответа на вопрос: что находится между дискретами материи, если материя является первоосновой всего сущего [17]. Поэтому допущение наличия у материи свойства, *проявляющегося* как мгновенное взаимодействие отдалённых вещественных объектов, вполне логично и непротиворечиво. Две квантовые частицы взаимодействуют друг с другом на более глубоком уровне – материальном, передавая друг другу более тонкую, неуловимую на вещественном уровне информацию, которая не связана с вещественным, полевым, волновым или каким-либо другим носителем, и регистрация которой непосредственно принципиально невозможна. Явление нелокальности (несепарабельности), хотя и не имеет явного и ясного физического описания (объяснения) в квантовой физике, тем не менее, доступно пониманию и объяснению как реальный процесс.

Таким образом, взаимодействие запутанных частиц, в общем, не противоречит ни логике, ни здравому смыслу и допускает, пусть и фантастическое, но достаточно стройное объяснение.

Квантовая телепортация

Ещё одним интересным и парадоксальным проявлением квантовой природы материи считается квантовая телепортация. Термин «телепортация», взятый из научной фантастики, в настоящее время широко используется в научной литературе и на первый взгляд вызывает впечатление чего-то нереального. Квантовая телепортация означает мгновенный перенос квантового состояния от одной частицы к другой, удалённой на большое расстояние. Однако телепортации самой частицы, передачи массы при этом не происходит.

Вопрос о квантовой телепортации впервые был поставлен в 1993 году группой Беннета, которая, используя парадокс ЭПР, показала, что в принципе сцеплённые (запутанные) частицы могут служить своего рода информационным «транспортом». Посредством присоединения третьей – «информационной» – частицы к одной из сцеплённых частиц, можно передавать её свойства другой, причём даже без измерения этих свойств [10].

Реализация ЭПР-канала была осуществлена экспериментально, и была доказана выполнимость принципов ЭПР на практике для передачи через световоды состояний поляризации между двумя фотонами посредством третьего на расстояниях до 10 километров.

Согласно законам квантовой механики фотон не имеет точного значения поляризации, пока она не измерена детектором. Таким образом, измерение преобразует набор всех возможных поляризаций фотона в случайное, но совершенно конкретное значение. Измерение поляризации одного фотона запутанной пары приводит к тому, что у второго фотона, как бы далеко он ни находился, мгновенно появляется соответствующая - перпендикулярная ей - поляризация. Если к одному из двух исходных фотонов «подмешать» посторонний фотон, образуется новая пара, новая связанная квантовая система. Измерив её параметры, можно мгновенно передать сколь угодно далеко - телепортировать - направление поляризации уже не исходного, а постороннего фотона. В принципе практически всё, что происходит с одним фотоном пары, должно мгновенно влиять на другой, меняя его свойства вполне определённым образом.

В результате измерения второй фотон первоначальной связанной пары также приобретает некоторую фиксированную поляризацию: копия первоначального состояния «фотона-посланника» передавалась удалённому фотону. Наиболее сложно было доказать, что квантовое состояние действительно телепортировано: для этого необходимо точно знать, как установлены детекторы при измерении общей поляризации, и потребовалось тщательно синхронизировать их.

Упрощённо схему квантовой телепортации можно представить себе следующим образом. Алисе и Бобу (условные персонажи) посылаются по одному фотону из пары запутанных фотонов. Алиса имеет у себя частицу (фотон) в (неизвестном ей) состоянии А; фотон из пары и фотон Алисы взаимодействуют («запутываются»), Алиса производит измерение и определяет состояние системы из двух фотонов, оказавшейся у неё. Естественно, первоначальное состояние А фотона Алисы при этом разрушается. Однако фотон из пары запутанных фотонов, оказавшийся у Боба, переходит в состояние А. В принципе, Боб даже не знает при этом, что произошёл акт телепортации, поэтому необходимо, чтобы Алиса передала ему информацию об этом обычным способом [10].

Математически, на языке квантовой механики это явление можно описать следующим образом. Схема устройства для осуществления телепортации [6] приведена на рисунке:

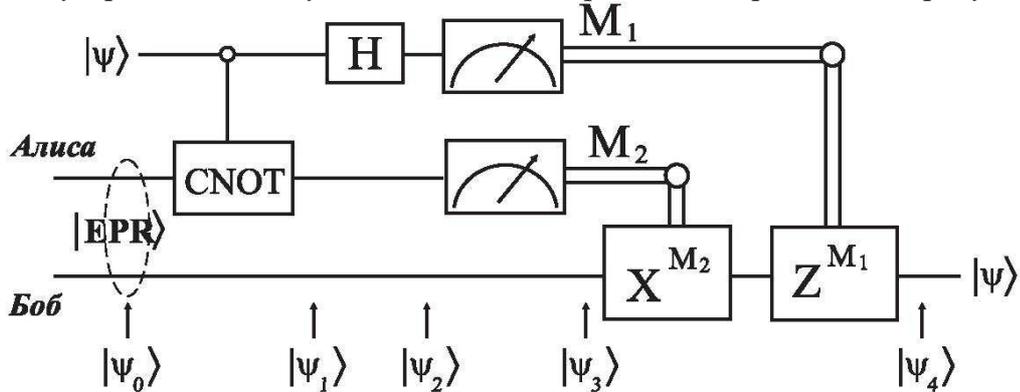


Рис.6. Схема установки для осуществления квантовой телепортации состояния фотона

«Начальное состояние определяется выражением:

$$|\Psi_0\rangle = |\Psi\rangle|EPR\rangle = \sqrt{1/2}\{\alpha|0\rangle(|00\rangle + |11\rangle) + \beta|1\rangle(|00\rangle + |11\rangle)\} \quad (10.2)$$

Здесь принято, что первые два (слева-направо) кубита принадлежат Алисе, а третий кубит Бобу. Далее Алиса пропускает свои два кубита через CNOT-гейт. При этом получается состояние $|\Psi_1\rangle$:

$$|\Psi_1\rangle = \sqrt{1/2}\{\alpha|0\rangle(|00\rangle + |11\rangle) + \beta|1\rangle(|10\rangle + |01\rangle)\} \quad (10.3)$$

Затем Алиса пропускает первый кубит через гейт Адамара. В результате состояние рассматриваемых кубитов $|\Psi_2\rangle$ будет иметь вид:

$$|\Psi_2\rangle = 1/2\{\alpha(|0\rangle + |1\rangle)(|00\rangle + |11\rangle) + \beta(|0\rangle - |1\rangle)(|00\rangle + |11\rangle)\} \quad (10.4)$$

Перегруппировав члены в (10.4), соблюдая выбранную последовательность принадлежности кубитов Алисе и Бобу, получим:

$$|\Psi_2\rangle = \frac{1}{2}\{|00\rangle(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) + |01\rangle(\alpha|1\rangle + \beta|0\rangle) + |10\rangle(\alpha|0\rangle - \beta|1\rangle) + |11\rangle(\alpha|1\rangle - \beta|0\rangle)\} \quad (10.5)$$

Отсюда видно, что, если, например, Алиса выполнит измерения состояний своей пары кубитов и получит 00 (то есть $M_1 = 0, M_2 = 0$), то кубит Боба будет находиться в состоянии $|\Psi\rangle$, то есть именно в том состоянии, которое Алиса хотела передать Бобу. В общем случае, в зависимости от результата измерения Алисы состояние кубита Боба, после процесса измерения будет определяться одним из четырёх возможных состояний:

Результат измерения Алисы	Состояние кубита Боба	Действия Боба	Окончательное состояние
00	$\alpha(0\rangle + \beta(1\rangle)$	1	$\alpha(0\rangle + \beta(1\rangle)$
01	$\alpha(1\rangle - \beta(0\rangle)$	X	$\alpha(0\rangle + \beta(1\rangle)$
10	$\alpha(0\rangle - \beta(1\rangle)$	Z	$-\alpha(0\rangle + \beta(1\rangle)$
11	$\alpha(1\rangle + \beta(0\rangle)$	XZ	$\alpha(0\rangle + \beta(1\rangle)$

(10.6)

Однако для того, чтобы узнать, в каком из четырёх состояний находится его кубит, Боб должен получить классическую информацию о результате измерения, выполненного Алисой. Как только Боб узнает результат измерения Алисы, он может получить состояние исходного кубита Алисы $|\Psi\rangle$, выполнив соответствующие соответствующие схеме (10.6) квантовые операции. Так если Алиса сообщила ему, что результат её измерения 00, то Бобу ничего не нужно делать с его кубитом – он находится в состоянии $|\Psi\rangle$, то есть результат передачи уже достигнут. Если же измерение Алисы даёт результат 01, то Боб должен подействовать на свой кубит гейтом X. Если измерение Алисы даёт 10, то Боб должен применить гейт Z. Наконец, если результат был 11, то Боб должен подействовать гейтами $X*Z$, чтобы получить передаваемое состояние $|\Psi\rangle$.

Суммарно квантовая цепь, описывающая явление телепортации, приведена на рисунке. Имеется ряд обстоятельств для явления телепортации, которые должны быть объяснены с учётом общефизических принципов. Например, может создаться впечатление, что телепортация позволяет передавать квантовое состояние мгновенно и, следовательно, быстрее скорости света. Это утверждение находится в прямом противоречии с теорией относительности. Однако в явлении телепортации нет противоречия с теорией относительности, потому что для осуществления телепортации Алиса должна передать результат своего измерения по классическому каналу связи, а телепортация не передаёт никакой информации» [6].

Явление телепортации явно и логично вытекает из формализма квантовой механики. Очевидно, что основой этого явления, его «ядром» является запутанность. Поэтому телепортация логична как и запутанность, она легко и просто описывается математически, не порождая никаких противоречий ни с логикой, ни со здравым смыслом.

Неравенства Белла

Выше было сказано о плохо обоснованных ссылках на нарушения «неравенств Белла», как на доводы, опровергающие локальный реализм Эйнштейна, который нарушает их с тем же успехом, что и квантовая механика [14].

Статья Д.С.Белла об ЭПР-парадоксе явилась убедительным математическим опровержением доводов Эйнштейна о неполноте квантовой механики и сформулированных им положений так называемого «локального реализма». Со дня опубликования статьи в 1964 году и до наших дней доводы Белла, более известные в форме «неравенств Белла», служат самым распространённым и главным аргументом в споре между представлениями о нелокальности

квантовой механики и целым классом теорий на основе «скрытых переменных» или «дополнительных параметров».

Вместе с тем, возражения Белла следует считать компромиссом между специальной теорией относительности и экспериментально наблюдаемым явлением запутанности, имеющим все видимые признаки мгновенной зависимости двух отделённых друг от друга систем. Этот компромисс известен в наши дни как нелокальность или несепарабельность. Нелокальность фактически отрицает положения традиционной теории вероятности на зависимые и независимые события и обосновывает новые положения – квантовую вероятность, квантовые правила вычисления вероятности событий (сложение амплитуд вероятностей), квантовую логику. Такой компромисс служит почвой для возникновения мистических взглядов на природу [15].

Рассмотрим [20] весьма интересный вывод Белла из анализа парадокса ЭПР:

«В квантовой теории с дополнительными параметрами для того, чтобы определить результаты индивидуальных измерений без того, чтобы изменить статистические предсказания, должен быть механизм, посредством которого настройка одного измеряющего устройства может влиять на чтение другого отдалённого инструмента. Кроме того, задействованный сигнал должен распространяться мгновенно так, что такая теория не может быть лоренц-инвариантом» [15].

И Эйнштейн и Белл исключают сверхсветовое взаимодействие между частицами. Однако доводы Эйнштейна о «дополнительных параметрах» Белл убедительно опроверг, хотя и ценой допущения некоего сверхсветового «механизма настройки». Чтобы сохранить лоренц-инвариантность теории видны два пути: признать мистику нелокальности, либо... существование невещественной субстанции, связывающей частицы. Предположение о мгновенной передаче неуловимой пока, не зарегистрированной экспериментально «квантовой информации» позволяет отказаться от мистики в пользу логики и здравого смысла и справедливости специальной теории относительности. Хотя объяснение в целом выглядит фантастическим.

Противоречие между квантовой механикой и СТО

Выше было сказано о формальном признании отсутствия противоречия между квантовой механикой – явлением нелокальности, запутанности и специальной теорией относительности. Однако явление запутанности, тем не менее, позволяет в принципе организовать проведение эксперимента, который явным образом может показать, что движущиеся друг относительно друга часы идут синхронно. Это означает, что утверждение СТО о том, что движущиеся часы отстают, - ошибочно [13]. Есть веские основания полагать, что между квантовой теорией и специальной теорией относительности существует неустранимое противоречие, касающееся скорости передачи взаимодействия и квантовой нелокальности. Положение квантовой теории о мгновенности коллапса вектора состояния противоречит постулату СТО об ограниченности скорости передачи взаимодействия, поскольку существует способ использовать коллапс для формирования сигнала синхронизации, являющегося фактически информационным сигналом, мгновенно распространяющимся в пространстве. Отсюда следует вывод, что одна из теорий – квантовая или специальная теория относительности, либо обе теории требуют пересмотра в вопросе о скорости передачи взаимодействия. Для квантовой теории – это отказа от квантовой корреляции запутанных частиц (нелокальности) с мгновенностью коллапса волновой функции на любом расстоянии, для СТО – это предельность скорости передачи взаимодействия.

Сущность квантовой синхронизации [13] состоит в следующем. Две запутанные частицы (фотоны) мгновенно получают собственные состояния при коллапсе общей волновой функции – это положение квантовой механики. Поскольку существует, по крайней мере, одна ИСО, в которой каждый из фотонов получает своё состояние в пределах измерительного устройства, нет никаких разумных оснований утверждать, что существуют другие ИСО, в которых эти состояния фотоны получили *вне* измерительных устройств. Отсюда неизбежный вывод, что срабатывание двух измерителей происходит *одновременно* с точки зрения *любой* ИСО, поскольку для *любой* ИСО оба измерителя сработали *одновременно* вследствие коллапса волновой функции. В частности это означает, что собственный измеритель *неподвижной* ИСО сработал абсолютно одновременно с измерителем в *движущейся* ИСО, поскольку квантовые запутанные частицы (фотоны) в момент коллапса находились в пределах измерительных устройств, а коллапс

происходит мгновенно. Использование сигнатур (последовательностей сигналов измерителей) позволяет впоследствии показать синхронность хода часов.

Как видим, даже такое явно наблюдаемое противоречие между двумя ведущими физическими теориями допускает вполне логичное разрешение (включая экспериментальную проверку), которое ни в коей мере не противоречит здравому смыслу. Впрочем, необходимо отметить, что само явление квантовой синхронизации оказалось выше понимания всех оппонентов, с которыми велось его обсуждение.

Загадки египетских пирамид

Со школьных лет нам внушали, что знаменитые египетские пирамиды были построены руками египтян известных нам династий. Однако научные экспедиции, организованные в наши дни А.Ю.Склярным высветили множество несогласованностей и противоречий в таких взглядах на происхождение пирамид. Более того, были обнаружены противоречия и в трактовках появления подобных сооружений в других частях света. Экспедиции Склярова ставили перед собой довольно фантастические задачи [22]: «главное: найти-таки то, что мы искали – признаки и следы высоко развитой цивилизации, кардинально отличающейся по возможностям и освоенным ей технологиям от того, что представляли из себя все известные историкам народности Мезоамерики».

Подвергнув критике господствующие объяснения официальной исторической науки возникновения удивительных древних сооружений, он приходит к убедительному заключению о совершенно ином их происхождении:

«Все читали и «знают» о знаменитых египетских обелисках. Но знают что?.. В книжках можно увидеть данные по высоте обелисков, оценку их веса и указание материала, из которого они изготовлены; описание их величественности; изложение версии изготовления, доставки и установки на место. Можно даже найти варианты переводов надписей на них. Но вряд ли где вы встретите упоминание о том, что на этих же обелисках очень часто можно встретить узкие декоративные прорезы (глубиной порядка сантиметра и шириной на входе всего в пару-тройку миллиметров и практически равной нулю в глубине), которые не в состоянии ныне повторить ни один супер-совершенный инструмент. И это в наше-то время высоких технологий!» [22]

Всё это заснято на киноплёнку, показано крупным планом, всякие сомнения в подлинности показанного исключены. Кадры поразительные! И выводы, сделанные на основе анализа элементов сооружений, безусловно, однозначны и бесспорны:

«Отсюда неизбежно и автоматически вытекает то, что сделать ее могли только те, кто имел соответствующий инструмент. Это – раз. Тот, кто имел машинное производство (а вовсе не ручное). Это – два. Тот, кто имел производственную базу для создания подобного инструмента. Это – три. Тот, кто имел соответствующее энергетическое обеспечение как для работы этого инструмента, так и для работы всей базы, производящей инструмент. Это – четыре. Тот, кто имел соответствующие знания. Это – пять. И так далее, и тому подобное. В итоге мы получаем цивилизацию, превосходящую современную нам и по знаниям, и по технологиям.

Фантастика?.. Но прорезь-то реальна!!!» [22]

Надо быть патологическим Фомой Неверующим, чтобы отрицать наличие следов высоких технологий, и быть невероятным фантазёром, чтобы приписывать все эти работы древним египтянам (и другим народам, на территории которых были обнаружены сооружения).

При всей фантастичности древних сооружений в Египте, Мексике и других регионах, их возникновение может быть объяснено без каких бы то ни было противоречий с логикой и здравым смыслом. Эти объяснения противоречат общепринятой трактовке происхождения пирамид, но они реальны в принципе. Даже предположение о посещении Земли инопланетянами и постройка ими пирамид не противоречит здравому смыслу: при всей фантастичности этой идеи, она вполне могла иметь место. Более того, это объяснение куда более логично и здравомысляще, чем приписывание строительства древним плохо развитым цивилизациям.

А если предположить невероятное?

Итак, как показано, множество даже самых удивительных явлений природы вполне можно объяснить с точки зрения логики и здравого смысла. Видимо, можно найти ещё множество таких загадок и явлений, которые, тем не менее, позволяют привести хоть какое-то логическое или непротиворечивое объяснение. Но это не относится к интерференции, которая сталкивается при объяснении с непреодолимыми противоречиями с логикой и здравым смыслом. Попробуем всё-таки сформулировать хоть какое-то объяснение, пусть даже фантастическое, безумное, но опирающееся на логику и здравый смысл.

Предположим, что фотон – это волна и ничего более, что не существует общепризнанного корпускулярно-волнового дуализма. Однако фотон – волна не в традиционном виде: он не просто электромагнитная волна или волна Де Бройля, а нечто более отвлечённое, абстрактно - волновое. Тогда то, что мы называем частицей и, вроде бы даже проявляется как частица – на самом деле в некотором смысле свёртывание, коллапс, «смерть» волны, процедура поглощения фотона-волны, процесс исчезновения фотона-волны. Теперь попробуем объяснить некоторые явления с этой ненаучной, даже нелепой точки зрения.

Эксперимент на интерферометре Маха-Цандера. На входе в интерферометр фотон – «ни волна, ни частица» разбивается на две части. В самом прямом смысле этого слова. Полфотона движется по одному плечу, а полфотона – по другому. На выходе интерферометра фотон вновь собирается в единое целое. Пока это только эскизное описание процесса.

Теперь предположим, что один из путей фотона перекрыт. При соприкосновении с препятствием полу-фотон «конденсируется» в целый фотон. Происходит это в одной из двух точек пространства: либо в точке контакта с препятствием, либо в удалённой точке, где находилась в этот момент его вторая половина. Но где именно? Понятно, что вследствие квантовой вероятности определить точное место невозможно: либо там, либо здесь. При этом система из двух полу-фотонов разрушается и «сливается» в исходный фотон. Точно известно только, что слияние происходит в точке нахождения одного из полу-фотонов и что полу-фотоны сливаются воедино со сверхсветовой (мгновенной) скоростью – точно так же, как запутанные фотоны принимают коррелированные состояния.

Эффект, описанный Пенроузом [12], с интерференцией на выходе интерферометра Маха-Цандера. Фотон и полу-фотоны также являются волнами, поэтому все волновые эффекты объясняются с этой точки зрения просто: «если открыты оба маршрута (оба одинаковой длины), то фотон может достичь только А» вследствие интерференции волн полу-фотонов. «Блокировка одного из маршрутов позволяет фотону достичь детектора В» в точности так же, как и при проходе фотона-волны через сплиттер (делитель луча) в интерферометр – то есть с разбиением его на два полу-фотона и конденсации впоследствии на одном из детекторов – А или В. При этом в «собранном виде» к выходному делителю приходит в среднем каждый второй фотон, поскольку перекрытие одного из путей вызывает «сборку» фотона либо во втором канале, либо на препятствии. Напротив, «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», вследствие чего к выходному делителю приходят два полу-фотона, которые и интерферируют на делителе, попадая либо на детектор А, либо на детектор В.

Эксперимент на двух щелях. Попадая на щели, фотон – «ни волна, ни частица» как и выше делится на две части, на два полу-фотона. Проходя через щели, полу-фотоны интерферируют традиционно как волны, давая соответствующие полосы на экране.

Когда одна из щелей закрыта (на выходе), то полу-фотоны так же «конденсируются» на одном из них по законам квантовой вероятности. То есть фотон может «собраться» в целое как на заглушке – на первом полу-фотоне, так и в месте нахождения второго полу-фотона в тот момент, когда первый коснулся этой заглушки. При этом дальнейшее движение «сконденсировавшийся» фотон продолжает традиционным для квантовой волны-фотону образом.

Явление отложенного выбора. Как и в предыдущем примере полу-фотоны проходят через щели. Интерференция происходит точно так же. Если же после прохождения полу-фотонами щелей подменить регистратор (экран или окуляры), для полу-фотонов ничего особенного не произойдёт. Если на пути у них встретится экран – они интерферируют,

«собираются» в один в соответствующей точке пространства (экрана). Если встретится окуляр, то по законам квантовой вероятности полу-фотоны «соберутся» в целый фотон на одном из них. Квантовой вероятности безразлично, на каком из полу-фотонов «сконденсировать» фотон в целое. В окуляре мы действительно будем точно видеть, что фотон прошёл через определённую щель.

Запутанность. Квантовые частицы – волны в момент взаимодействия и последующего разделения, например, сохраняют свою «парность». Другими словами каждая из частиц «разлетается» одновременно по двум направлениями в виде получастиц. То есть, две получастицы – половина первой частицы и половина второй частицы – удаляются в одну сторону, а две другие половинки – в другую. В момент коллапса вектора состояния каждая из получастиц «схлопывается», каждая на «своей» стороне, мгновенно, независимо от расстояния между частицами. Согласно правилам квантовых вычислений, можно произвести в случае с фотонами поворот поляризации одной из частиц без коллапса вектора состояния. При этом должен произойти поворот взаимных направлений поляризации запутанных фотонов: при коллапсе угол между их поляризацией уже не будет кратным прямому. Но это также можно объяснить, например, неравноправием «половинок».

Фантастично? Безумно? Ненаучно? Видимо, так. Более того, эти объяснения явно противоречат тем экспериментам, в которых квантовые частицы проявляют себя именно как кванты, например, упругие столкновения. Но такова цена стремления придерживаться логики и здравого смысла. Как видим, интерференция не поддаётся этому, она противоречит и логике и здравому смыслу в несоизмеримо большей степени, чем все рассмотренные здесь явления. «Сердце квантовой механики», квинтэссенция принципа квантовой суперпозиции является неразрешимой загадкой. А учитывая, что интерференция фактически является базовым принципом, в той или иной степени содержащимся во многих квантово-механических выкладках, она является абсурдом, неразгаданной *Главной Загадкой Физики Квантов*.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Поскольку при анализе загадок науки мы будем использовать такие базовые понятия как логика, парадокс, противоречие, абсурд, здравый смысл, то следует определить, как мы будем трактовать эти понятия.

Формальная логика

Основным инструментом анализа мы выбираем аппарат формальной логики, которая является основой всех других классов логик так же, как бинарное исчисление является основой всех исчислений (с другими основаниями). Это логика самого нижнего уровня, проще которой невозможно помыслить ничего более. Все рассуждения и логические построения, в конечном счёте, основываются на этой базовой, основной логике, сводятся к ней. Отсюда неизбежен вывод, что любые рассуждения (построения) в своей основе не должны противоречить формальной логике. Логика это:

1. Наука об общих законах развития объективного мира и познания.
2. Разумность, правильность умозаключений.
3. Внутренняя закономерность.

(Толковый словарь русского языка

Ушакова, <http://slovari.yandex.ru/dict/ushakov/article/ushakov/12/us208212.htm>)

Логика - «нормативная наука о формах и приемах интеллектуальной познавательной деятельности, осуществляемой с помощью языка. Специфика *логических законов* заключается в том, что они представляют собой высказывания, истинные исключительно в силу своей логической формы. Иными словами, логическая форма таких высказываний обуславливает их истинность безотносительно конкретизации содержаний их нелогических терминов».

(Васюков В., Энциклопедия «Кругосвет»,

<http://slovari.yandex.ru/dict/krugosvet/article/b/bf/1010920.htm>)

Среди логических теорий нас будет особенно интересовать *неклассическая логика* - *квантовая логика*, предполагающая нарушение законов классической логики в микромире.

В определённой степени мы будем опираться на диалектическую логику, логику «противоречий»:

«Диалектическая логика – это *философия, теория истины* (истины-процесса, по Гегелю), тогда как другие «логики» - специальный инструмент фиксации и воплощения результатов познания. Инструмент очень нужный (скажем, без опоры на математико-логические правила исчисления высказываний не заработает ни одна компьютерная программа), но все-таки – специальный.

... Такая логика изучает законы возникновения и развития из единого источника различных, порой лишенных не только внешнего сходства, но и противоречивых явлений. Более того, для диалектической логики *противоречие* заложено уже в самом источнике происхождения явлений. В отличие от формальной логики, налагающей запрет на подобное в виде «закона исключенного третьего» (или А или не-А - *tertium non datur*: третьего не дано). Но что поделаешь, если свет уже в своем основании – свет как «истина» - представляет собой и волну, и частицу (корпускулу), «разделить» на которые его невозможно даже в условиях самого изощренного лабораторного эксперимента?»

(Кудрявцев В., Что такое диалектическая логика? <http://www.tovievich.ru/book/8/340/1.htm>)

Здравый смысл

В аристотелевском значении этого слова – способность постигать свойства объекта посредством использования других чувств.

Убеждения, мнения, практическое понимание вещей, свойственные "среднему человеку".

Разговорное: хорошее, аргументированное суждение.

Приблизительный синоним логического мышления. Первоначально здравый смысл рассматривался как составная часть умственной способности, функционирующей чисто рациональным образом.

(Оксфордский толковый словарь по психологии /Под ред. А.Ребера, 2002 г.,

<http://vocabulary.ru/dictionary/487/word/%C7%C4%D0%C0%C2%DB%C9+%D1%CC%DB%D1%CB>)

Здесь мы рассматриваем здравый смысл исключительно как соответствие явлений формальной логике. Лишь противоречие логике в построениях может служить основанием для признания ошибочности, незавершённости выводов или их абсурдности. Как сказал Ю.Скляр, объяснение реальным фактам нужно искать с помощью логики и здравого смысла, какими бы странными, непривычными и «ненаучными» ни казались на первый взгляд эти объяснения.

При анализе мы опираемся на научный метод, каковым считаем метод проб и ошибок. (Серебряный А.И., Научный метод и ошибки, Природа, № 3, 1997 г., http://vivovoco.rsl.ru/VV/PAPERS/NATURE/VV_SC2_W.HTM)

При этом мы отдаём себе отчёт, что наука сама по себе основана на вере:

«по сути, любое знание основывается на вере в исходные предположения (которые берутся априори, через интуицию и которые невозможно рационально прямо и строго доказать), - в частности, в следующие:

- (i) наш разум может постигать реальность,
- (ii) наши чувства отражают реальность,
- (iii) законы логики».

(В.С.Ольховский В.С., Как соотносятся постулаты веры эволюционизма и креационизма между собой с современными научными данными, <http://www.scienceandapologetics.org/text/91.htm>)

«То, что наука основана на вере, которая качественно не отличается от веры религиозной, признают и сами ученые».
(Современная наука и вера, <http://www.vyasa.ru/philosophy/vedicculture/?id=82>)

Альберту Эйнштейну приписывают такое определение здравого смысла: «Здравый смысл есть набор предубеждений, который мы приобретаем по достижении восемнадцати лет». (<http://www.marketer.ru/node/1098>). От себя по этому поводу добавим: Не отвергай здравый смысл – иначе он может отказать тебе.

Противоречие

«В формальной логике - пара противоречащих друг другу суждений, т. е. суждений, каждое из которых является отрицанием другого. Противоречием называется также сам факт появления такой пары суждений в ходе какого-либо рассуждения или в рамках какой-либо научной теории».

(Большая советская энциклопедия, Рубрикон,
<http://slovari.yandex.ru/dict/bse/article/00063/38600.htm>)

«Мысль или положение, несовместимое с другим, опровергающее другое, несогласованность в мыслях, высказываниях и поступках, нарушение логики или правды».

(Толковый словарь русского языка Ушакова,
<http://slovari.yandex.ru/dict/ushakov/article/ushakov/16-4/us3102504.htm>)

«логическая ситуация одновременной истинности двух взаимоисключающих определений или высказываний (суждений) об одном и том же. В формальной логике противоречие считается недопустимым согласно закону противоречия».

(<http://ru.wikipedia.org/wiki/Противоречие>)

Парадокс

«1) мнение, суждение, умозаключение, резко расходящееся с общепринятым, противоречащее «здравому смыслу» (иногда лишь на первый взгляд);

2) неожиданное явление, событие, не соответствующее привычным представлениям;

3) в логике - противоречие, возникающее при всяком отклонении от истины.

Противоречие синонимично термину "антиномия" - противоречие в законе - так называют любое рассуждение, доказывающее как истинность тезиса, так и истинность его отрицания.

Нередко парадокс возникает, когда два взаимоисключающих (противоречащих) суждения оказываются в равной степени доказуемыми».

(<http://slovari.yandex.ru/dict/psychlex2/article/PS2/ps2-0279.htm>)

Поскольку парадоксом принято считать явление, противоречащее общепринятым взглядам, то в этом смысле парадокс и противоречие схожи. Однако мы будем рассматривать их отдельно. Парадокс – это хотя и противоречие, но он может быть объяснён логически, он доступен здравому смыслу. Противоречие же мы будем рассматривать как неразрешимое, невозможное, абсурдное логическое построение, необъяснимое с позиции здравого смысла.

В статье производится поиск таких противоречий, которые не просто сложны в разрешении, а достигают уровня абсурда. Их не то чтобы объяснить сложно, но даже постановка задачи, описание сути противоречия сталкивается с трудностями. Как объяснить то, что даже сформулировать не удаётся? На наш взгляд таким абсурдом является двухщелевой эксперимент Юнга. Как обнаружено, объяснить поведение квантовой частицы при интерференции её на двух щелях крайне сложно.

Абсурд

Нечто нелогичное, нелепое, противоречащее здравому смыслу.

- Абсурдным считается выражение, которое внешне не является противоречивым, но из которого все-таки может быть выведено противоречие.
- Абсурдное высказывание осмысленно и в силу своей противоречивости является ложным. Логический закон противоречия говорит о недопустимости одновременно утверждения и отрицания.
- Абсурдное высказывание представляет собой прямое нарушение этого закона. В логике рассматриваются доказательства путем *reductio ad absurdum* («приведения к абсурду»): если из некоторого положения выводится противоречие, то это положение является ложным. (Википедия, <http://ru.wikipedia.org/wiki/Абсурд>)

У греков понятие абсурда означало логический тупик, то есть место, где рассуждение приводит рассуждающего к очевидному противоречию или, более того, к явной бессмыслице и, следовательно, требует иного мыслительного пути. Таким образом, под абсурдом понималось отрицание центрального компонента рациональности — логики. (<http://www.ec-dejavu.net/a/Absurd.html>)

Литература

1. Aspect A. «Bell's theorem: the naive view of an experimentalist», 2001, (http://quantum3000.narod.ru/papers/edu/aspect_bell.zip)
2. Aspect: Алэн Аспект, *Теорема Белла: наивный взгляд экспериментатора*, (Пер. с англ. Путенихина П.В.), Квантовая Магия, 4, 2135 (2007). <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL422007/p2135.html>
3. Vassialuppi G., Роль декогеренции в квантовой теории: Перевод М.Х.Шульман. - Институт истории и философии науки и техники (Париж) - <http://plato.stanford.edu/entries/qm-decoherence/>
4. Белинский А.В., Квантовая нелокальность и отсутствие априорных значений измеряемых величин в экспериментах с фотонами, - УФН, т.173, №8, август 2003.
5. Боумейстер Д., Экерт А., Цайлингер А., Физика квантовой информации. - <http://quantmagic.narod.ru/Books/Zeilinger/g1.djvu>
6. Волновые процессы в неоднородных и нелинейных средах. Семинар 10. Квантовая телепортация, Воронежский государственный университет, REC-010 Научно-образовательный центр, <http://www.rec.vsu.ru/rus/ecourse/quantcomp/sem10.pdf>
7. Доронин С.И., «Не локальность квантовой механики», Форум Физики Магии, Сайт «Физика магии», Физика, <http://physmag.h1.ru/forum/topic.php?forum=1&topic=29>
8. Доронин С.И., Сайт «Физика Магии», <http://physmag.h1.ru/>
9. Заречный М.И., Квантовая и мистическая картины мира, 2004, <http://www.simoron.dax.ru/>
10. Квантовая телепортация (передача Гордона 21 мая 2002, 00:30), <http://www.mi.ras.ru/~volovich/lib/vol-acc.htm>
11. Менский М.Б., Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения
12. 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 перевода:
Roger Penrose, *The Emperor's New Mind. Concerning Computers, Minds and The Laws of Physics*. Oxford University Press, 1989.
13. Путенихин П.В., Квантовая механика против СТО, Самиздат, 2008, http://zhurnal.lib.ru/editors/p/putenihin_p_w/kmvsto.shtml
14. Путенихин П.В., Когда неравенства Белла не нарушаются, *SciTecLibrary*, 2008, <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/9016.html>
<http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL422007/p2167.html>

15. Путенихин П.В., Комментарии к выводам Белла в статье «Парадокс Эйнштейна, Подольского, Розена», SciTecLibrary, 2008,
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8979.html>
<http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/stat/st2213.pdf>
16. Путенихин П.В., Локальный реализм Эйнштейна. – Самиздат, 2008,
http://zhurnal.lib.ru/p/putenihin_p_w/localism.shtml
17. Путенихин П.В., Материя, Пространство, Время. – Самиздат, 2007,
http://zhurnal.lib.ru/editors/p/putenihin_p_w/materia.shtml
18. Путенихин П.В., Парадоксы квантовой суперпозиции в макромире, Квантовая Магия, 3, 3101 (2006),
<http://www.quantmagic.narod.ru/volumes/VOL332006/p3101.html>
19. Путенихин П.В., Свойства эфира, Самиздат, 2008,
http://zhurnal.lib.ru/editors/p/putenihin_p_w/ephir.shtml
20. Путенихин П.В.: Bell J.S., On the Einstein Podolsky Rosen paradox (перевод с англ. - П.В.Путенихин; комментарии к выводам и оригинальный текст статьи), Самиздат, 2008,
http://zhurnal.lib.ru/editors/p/putenihin_p_w/bell.shtml
21. Садбери А., Квантовая механика и физика элементарных частиц. – М.: Мир, 1989
22. Скляр А., Древняя Мексика без кривых зеркал,
<http://lah.ru/text/sklyarov/mexico-web.rar>
23. Хокинг С., Краткая история времени от большого взрыва до черных дыр. – Санкт-Петербург, 2001
24. Хокинг С., Пенроуз Р., Природа пространства и времени. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000, 160 стр.
25. Цыпенюк Ю.М., Соотношение неопределенностей или принцип дополнительности? – М.: Природа, №5, 1999, с.90
26. Эйнштейн А. Собрание научных трудов в четырех томах. Том 4. Статьи, рецензии, письма. Эволюция физики. М.: Наука, 1967,
http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Einstein_t4_1967ru.djvu
27. Эйнштейн А., Подольский Б., Розен Н. Можно ли считать квантовомеханическое описание физической реальности полным? / Эйнштейн А. Собр. научных трудов, т. 3. М., Наука, 1966, с. 604-611,
http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Einstein_t3_1966ru.djvu