

Элементарно об экспериментах с "отложенным выбором"

В.А. Касимов

Спутанность всегда может существовать между тождественными объектами по любым собственным квантовым числам как проявление фундаментального принципа квантовой механики – принципа суперпозиции [1]. Рассмотреть же феномен квантовой запутанности и каковы перспективы применения его к теории относительности можно на наглядном примере "путь-запутанного" фотона.

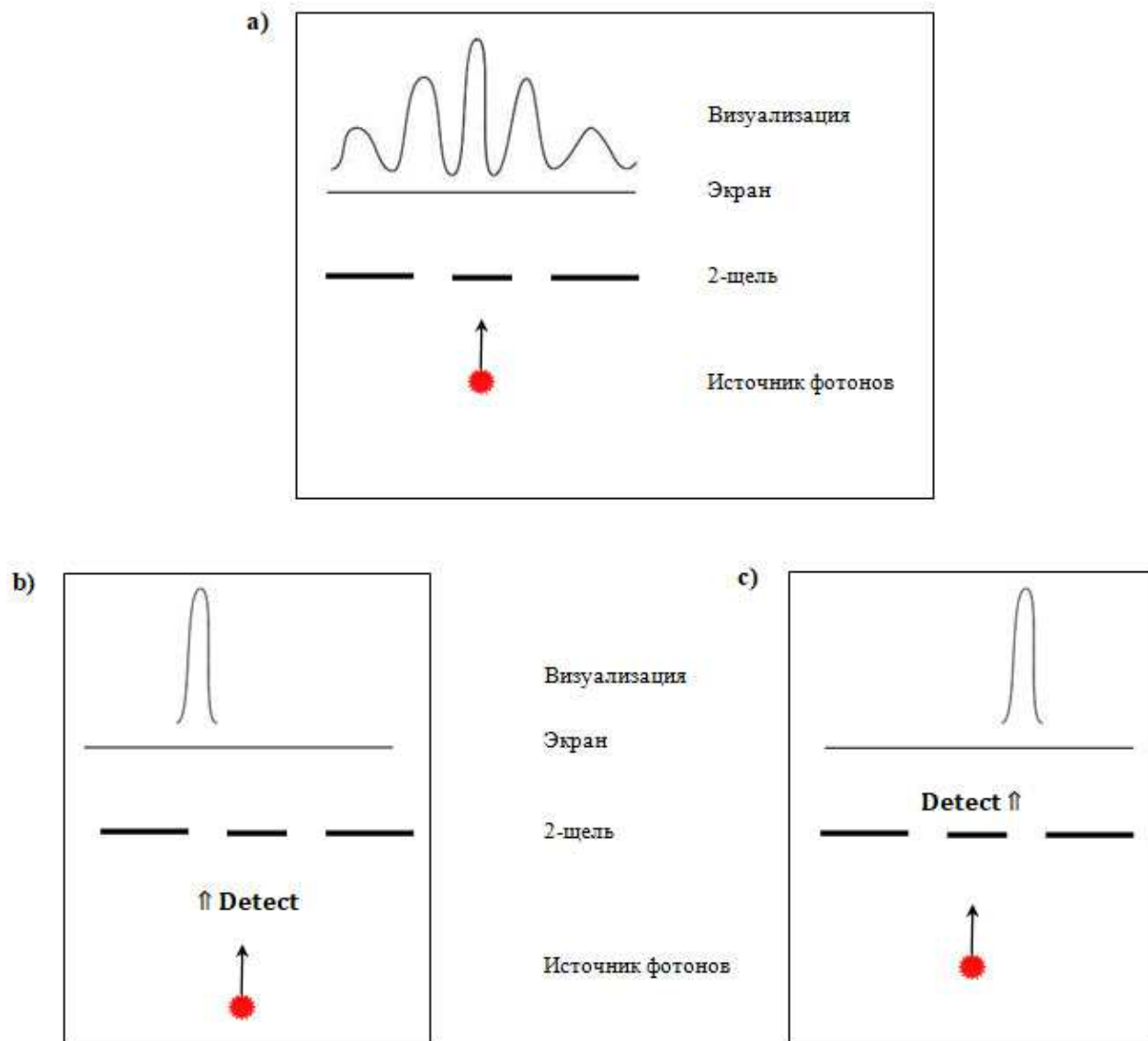


Рис.1. а) Стандартная визуализация процесса интерференции монохроматического когерентного пучка света. При больших частотах и малой интенсивности пучка луч света можно рассматривать как поток дискретных фотон. Картинку визуализации необходимо рассматривать либо как интенсивность светового потока, либо как вероятность обнаружения фотона как частицы. При этом детектирование фотонов возможно как перед проходом 2-щели б), так и после прохода. В первом случае зарегистрирован фотон от левой части 2-щели, во втором – от правой части.

Не может не вызывать удивление следующий факт. Можно как-то представить, что 2-щель в ситуации б) может оказаться причиной предстоящего изменения поведения фотона во время прохождения им этого препятствия, но аналогичное влияние после прохождения щели в ситуации с) трудно рационально объяснить после прохождения им щели, поскольку сам проход уже

прошёл¹⁾. Дело усугубляется тем, что случайный результат прохождения (левый или правый) совершенно не зависит от расстояний между детектором и щелью. Дело, видимо не в щели, как причине воздействия на фотон, а в самой процедуры детектирования, влияющей на квантовый объект. И это действительно так. Согласно корпускулярно-волновому дуализму фотон может вести себя и как частица, и как волна: всё зависит от того, какой инструментарий используется для его детектирования или измерения. Сам прибор измерения изменяет состояние фотона, представляя его частицей или волной. Дальнейшая эволюция фотона определяется состоянием после измерения. Очевидна необходимость введения квантовой характеристики, принимающей всего два значения: частица, волна. Детектор Detect на рис. b) и d) и играет роль инструмента, "превращающий" фотон в частицу. При этом происходит полное разрушение интерференционной картины, фотон напрочь "забывает" свой волновой статус — происходит так называемое *квантовое стирание* информации о статусе. Щель же играет противоположную роль, "превращая" фотон в волну. Так, если перед фотоном по результатам b) или c) вновь выставить 2-щель, фотон "забудет" о том что он частица и вновь приобретёт статус волны. Здесь также происходит квантовое стирание предыдущей информации о статусе квантового объекта. Смену картины ("частица-волна") и последующей эволюции в этом представлении связывают с распространением так называемого *сингла*. Реальность существования этого феномена подтверждена экспериментально, в частности экспериментами типа Аспека.

Представленная на рис.1 схема эксперимента представляет собой реализацию "путь-спутанной" системы. Хотя результаты b) и c) разные, но они содержат единственную определённую для квантового объекта — "быть частицей" и его дальнейшей эволюции, подчиняющейся динамике частицы. Реализация измерения (детектирование) "распутывает" траекторию фотона, определяя его путь как по левой или как по правой части 2-щели (разумеется, о самой траектории здесь не идёт речи). *Модуляция же распространения фотона с помощью синглов позволяет надеяться на достижение сверхсветовых скоростей передачи информации.*

В экспериментах Аспека и других подобных экспериментах в качестве спутываемого параметра используется поляризация (для фотонов) или спин (для других частиц), что оказывается просто более практичным для исполнения. Однако роль определённости значения переменной "частица-волна" аналогична как и в представленном сюжете 2-щелевого эксперимента.

Скорость распространения синглов не регламентируется ни квантовой механикой, ни теорией относительности. Возможность использования синглов в фотонных вариантах для сверхсветовой передачи информации обсуждается в статьях Д.К. Жирарди [2] и Р.У. Йенсена [3].

Подробнее ознакомиться с проблематикой нелокальной квантовой коммуникации можно, например, по работам [4, 5].

Литература

1. В.А. Касимов. *Ещё раз о квантовой "спутанности"*.
<https://www.academia.edu/34817440/>

При концептуальном оформлении результатов эксперимента Аспека необходимо говорить на языке квантовой механики, а не на языке аргументов частных озарений. Одним из таких озарений является понятие "спутанности" (частиц, или состояний – непонятно!) Язык же квантовой механики позволяет чётко и недвусмысленно наполнить конкретным содержанием возникшие вопросы по этому поводу. Для анализа предлагается элементарная модель, используемая в [1, 2].

2. Джан Карло Жирарди. *К вопросу о сверхсветовой коммуникации.*
<https://www.academia.edu/32443461/>

В литературе появляются различные новые предложения по сверхсветовой передаче информации. Поскольку зачастую используются новые форматы и их практические усовершенствования, старые теоремы, доказывающие невозможность выполнения, должны быть адаптированы к новым сценариям. В данной работе мы рассмотрим некоторые из наиболее сложных предложений такого рода и покажем, почему конкретно они не могут работать.

¹⁾ Момент так называемого "отложенного выбора"

3. Раймонд У. Йенсен. *Об использовании трехчастичных GHZ-состояний для сверхсветовой связи.*
<https://www.academia.edu/32443465/>

С помощью "запутанных" трехчастичных систем (триплетов) можно в принципе передать сигналы от Отправителя к Получателю со скоростью превышающей скорость света. Это осуществляется следующим образом. От источника триплетов, частицы 1 и 2 направляются в приемники Получателя, а частица 3 к Отправителю. У Отправителя имеются две возможности – измерять или стирать информацию о поляризации частицы 3. Между тем Получатель измеряет корреляцию между поляризациями частиц 1 и 2. Статистика корреляций 1 и 2 частиц зависит от действий Отправителя по отношению к частицы 3. Эти действия сообщаются мгновенно Получателю. Статистические зависимости от действий Отправителя является основой для сверхсветовых коммуникаций.

4. XsM, J. Kofler, A. Zeilinger. *Мысленные эксперименты с отложенным выбором и их реализации.*
<https://www.academia.edu/32443340/>

Корпускулярно-волновой дуализм восходит ко временам эйнштейновского объяснения фотоэффекта с помощью квантов света и гипотезы де Бройля о волновой природе материи. Квантовая механика использует абстрактное описание поведения физических систем, таких как фотоны, электроны или атомы. Становятся ли интуитивно понятными предсказания квантовой механики для единичных систем в экспериментах интерферометрии в терминах частиц или волн, зависит от конкретной конфигурации, которая используется в эксперименте. В принципе, это оставляет открытой возможность того, что квантовые системы априори всегда могут вести себя либо как частица, либо как волна во всех экспериментальных ситуациях и находится в ведении адаптации к конкретной экспериментальной ситуации. Это именно то, что физики пытаются исключить в экспериментах с отложенным выбором, в которых наблюдатель хочет зафиксировать частичный или волновой характер квантовой системы или даже реализовать непрерывное преобразование на позднем этапе эксперимента между этими двумя ипостасями. Здесь рассматривается история мысленных экспериментов с отложенным выбором, которая берёт начало с самого возникновения квантовой механике. Обсуждаются экспериментальные реализации, в частности, уилеровский эксперимент с отложенным выбором в интерферометрических установках, а также эксперименты с отложенным квантовым стиранием и обменом в запутанных системах. Последнее особенно интересно, потому что усиливает корпускулярно-волновой дуализм разделяемой спутанностью частиц в квантовой системе.

5. Джон Ж. Крамер, Ник Херберт. *О возможности нелокальной квантовой коммуникации*
<https://www.academia.edu/32443423/>

Рассмотрена возможность нелокальной квантовой связи. Мы исследуем три мысленных эксперимента, которые имеют переменную запутанности: (1) 4^x -детекторную поляризационно-спутанную систему, (2) 4^x -детекторную путь-спутанную систему, (3) 3^x -детекторная путь-спутанная система, которая использует новый оптический смеситель фотонных путей. Пересматривается новый квантовый парадокс, в котором наличие или отсутствие интерференционной картины 2^x -фотонной путь-спутанной системы определяется выбором измерения, что является потенциально нелокальным сигналом. Показано, что для рассмотренных случаев даже, когда интерференционные картины могут быть включены или выключены, всегда будет наблюдаться сигнальная или антисигнальная картины интерференции, которые могут быть добавлены даже, если одновременно присутствуют запутанность и когеренция, что маскирует любую наблюдаемую интерференцию. Такое поведение можно атрибутировать тем, что в литературе называется "комплементарностью одно- и двухчастичной интерференций".