

Выделенная система отсчета или мультиодновременность: смысл и значение предстоящего эксперимента

Антуан Суарец (suarez@leman.ch)
Центр квантовой философии
Институт междисциплинарных
исследований
Цюрих, Швейцария
6 марта 2006

Antoine Suarez (suarez@leman.ch)
Center for Quantum Philosophy
The Institute for Interdisciplinary Studies
P.O. Box 304, CH-8044
Zurich, Switzerland
March 6, 2006

Аннотация

Утверждается, что: 1) квантовая механика требует существования выделенной системы отсчета вследствие отложенного коллапса при детектировании, 2) предстоящие эксперименты с движущимися лучерасщепляющими зеркалами позволят нам выбрать между выделенной системой отсчета и мультиодновременностью, и 3) если будет принято решение в пользу выделенной системы отсчета, то в принципе окажутся возможными сверхсветовые коммуникации.

Ключевые слова: мультиодновременность (multisimultaneity), эксперименты со многими системами отсчета (many-frames experiments), коллапс волновой функции (wavefunction collapse), выделенная система отсчета (preferred frame), сверхсветовые коммуникации (superluminal communication).

1. Введение: конфликт между квантовой механикой и относительностью одновременности

Квантовая механика предсказывает статистическое распределение альтернативных результатов измерений событий в экспериментах в соответствии с принципом суперпозиции: при наличии суперпозиции квантовых состояний вероятности возможных исходов эксперимента определяются на основе отдельных квантовых амплитуд [1].

Очевидно, что невозможно определить статистическое распределение результатов экспериментов иначе, чем подсчетом числа одиночных событий. Вот почему, даже если квантовый формализм предсказывает не единичные события, а лишь их статистику, квантовая механика не может избежать постулирования некоторого соотношения между измерением отдельного события и предсказанием статистического распределения. Теория осуществляет это посредством так называемого “постулата редукции”. Углубленный анализ показывает, что этот постулат влечет некоторые допущения относительно механизма измерения [2, 3, 4, 5, 6]:

1. “Мгновенность редукции состояния”: измерение, выполненное в каком-либо месте, приводит к “мгновенному” воздействию на всю систему в целом (включая любую ее часть) и переводит ее в измеренное собственное состояние.

2. “Волновая функция коллапсирует при измерении”: результат возможного единичного измерения не определен до тех пор, пока не завершено измерение: поскольку в данном случае

система не рассматривается, как находящаяся в состоянии суперпозиции возможных результатов, “коллапс волновой функции” возникает при измерении.

3. “Внешний наблюдатель”: детекторы сами по себе могут рассматриваться вместе с измеряемой системой в качестве единого квантового “состояния система-прибор” до того момента, когда весь этот ансамбль коллапсирует по отношению к внешнему наблюдателю.

Соотношение между квантовой механикой и теорией относительности было объектом глубокого анализа с тех пор, как Джон Белл показал, что: а) если только допустить релятивистскую локальную причинность (причинные связи со скоростью $v \leq c$), то корреляции в двухчастичных экспериментах должны, очевидно, соответствовать условиям локальности (“неравенства Белла”), и б) в этих экспериментах правило квантовомеханической суперпозиции является источником нарушения такого локального критерия (“теорема Белла”) [7]. Эксперименты по проверке идей Белла, осуществленные за последние два десятка лет, несмотря на трудности их осуществления, подтвердили нарушение локальной причинности: были выявлены статистические корреляции при разделенных пространственно-подобными интервалами измерениях; нарушение неравенств Белла гарантирует, что эти корреляции не обусловлены локальными событиями [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Природа, как представляется, ведет себя нелокально, а квантовая механика правильно описывает наблюдаемые распределения.

Теперь возникает вопрос: можем ли мы использовать мгновенные воздействия, проявляющиеся в Белл-экспериментах, для создания телефонной линии с произвольным быстродействием? В квантовой механике ответ определяется выбором формализма. Согласно стандартному формализму, мы не можем использовать “эффект Белла” для сверхсветовых коммуникаций [15, 16]. Тем не менее, как представляется, не существует очевидных причин для того, чтобы квантовая механика, “специфически нерелятивистская теория”, запрещала сверхсветовую передачу информации [17]. Действительно, были построены нестандартные формализмы квантовой механики, которые сохраняют предсказания стандартной версии для всех уже выполненных экспериментов, однако приводят к сверхсветовым скоростям в более сложных экспериментах, которые еще не проводились [18, 19, 20].

Запрет стандартного формализма на сверхсветовые коммуникации возрождает знаменитое выражение “мирное существование” применительно ко взаимоотношениям между квантовой механикой и специальной теорией относительности [2], и часто приводится в качестве демонстрации того, что нелокальность не входит в противоречие с релятивистской причинностью по Эйнштейну. Между тем принцип специальной теории относительности действительно запрещает в природе *что-либо* более быстрое, чем свет, и тогда этот тезис приходит в противоречие с нелокальным поведением природы, подтверждаемое Белл – экспериментами. Напротив, относительность одновременности исключает не любое сверхсветовое взаимодействие, а только такое, которое влечет обратную причинность, как, например, взаимодействие, приводящее к сверхсветовым коммуникациям между людьми – наблюдателями. Следовательно, то, что реально следует из опытов Майкельсона – Морли, так это относительность одновременности, и тогда этот принцип (но не постулат специальной теории относительности) оказывается основным в относительности. Можно сказать, что нет конфликта между относительностью и нелокальным “взаимодействием по Беллу” в той мере, в какой это не приводит к возможности существования сверхсветовых телефонных линий или, в более общем случае, обратной причинности.

Однако способ, которым стандартная квантовая механика воплощает нелокальность, несет с собой проблемы из-за подразумеваемой независимости нелокальных корреляций от времени. Харди показал, что если рассматривать Белл-эксперименты с движущимися наблюдателями, то предсказания квантовой механики, не согласующиеся с принципом суперпозиции, оказываются в противоречии с относительностью одновременности и влекут существование выделенной системы отсчета [26, 25]. В этом плане интересно отметить, что квантовая механика была

последовательно развита в соответствии с абсолютной пространственно-временной схемой в форме механики Бома, которая сохраняет мгновенное взаимодействие и предусматривает “коллапс” [3, 21, 22], или теории Эберхарда, связывающие Белл-корреляции с сигналами, распространяющимися с конечной сверхсветовой скоростью [18], или модели Рембьелински (Rembielinski), замечательно включающей выделенную систему квантовой механики в Лоренц-инвариантные схемы [20]. Что касается других реалистических моделей, включающих “коллапс”, типа GRW-теорий [23, 24], то, поскольку они разделяют предсказания квантовой механики, теорема Харди требует, чтобы такие описания также приводили в принципе к выделенной системе отсчета.

Относительно “постулата редукции” Ааронов и Альберт утверждали, что если предполагается невозможность выделенной системы отсчета, то предположение о “мгновенности” требует отказаться от самой концепции состояния [27]. Что касается коллапса “состояния система-прибор” вследствие наличия “внешнего наблюдателя”, Перес сделал такое замечание: “это вообще не имеет смысла в релятивистском контексте” [28].

Суммируя, можно заключить, что “квантовый принцип суперпозиции”, “мгновенность редукции состояния” и “состояние система-прибор” уже были охарактеризованы как противоречащие относительности одновременности. Напротив, насколько мы знаем, допущение о том, что результат не определен до осуществления измерения, никогда не ставился под сомнение с точки зрения противоречия ей. В этой статье мы показываем, что допущение о коллапсе в момент измерения в принципе исключает относительность одновременности, так что квантовая механика должна рассматриваться как теория с выделенной системой отсчета в силу всех ее специфических свойств. Это заключение приводит к идее экспериментов с движущимися лучерасщепляющими зеркалами, в частности, с той целью, чтобы решить, использует ли природа на самом деле выделенную систему отсчета при реализации этих явлений. Если бы это было так, то ничто в принципе не говорило бы против возможности сверхсветовой сигнализации, и верхняя граница “скорости квантовой информации”, недавно выявленная в эксперименте [29] должна представлять практический интерес.

2 Объединение нелокальности и относительности в мультиодновременность

В свете предшествующих успехов квантовой механики и теоремы Харди возникает мысль: “хотя нелокальность не требует специальной системы отсчета, но она очень естественно включается в теории, подразумевающие такую систему отсчета” [26].

Иное направление мысли было предложено в недавних работах [30, 31, 32]: принимая сверхсветовую нелокальность и относительность одновременности как факты, необходимо модифицировать содержание правила, устанавливающего, когда именно вероятности вычисляются путем суммирования квантовых амплитуд. В результате возникает описание со многими системами отсчета, именуемое мультиодновременностью или релятивистской нелокальностью, которое для будущих, еще не выполненных, экспериментов порождает предсказания, противоречащие квантовой механике. Это новое описание показывает, что если природа действительно использует много систем отсчета в качестве причины явления (т.е. реальную относительность взамен относительности, используемой наблюдателем), то сверхсветовая нелокальность будет в высшей степени естественно включена в теорию со многими системами отсчета.

Мультиодновременность ликвидирует ключевую роль таких квантово-механических атрибутов, как измерение и “коллапс”, равно как и механика Бома. То, что заставляет детектор срабатывать, “наблюдаемая часть частицы” (или просто “частица”), всегда перемещается по определенному пути, но неизмеряемая информация (подобно “пустой” волне Бома) распространяется по альтернативным путям. Возникает два типа событий: основное событие

представляет собой “выбор” пути “частицей” в лучерасщепляющих зеркалах, которые по этой причине называют “устройствами-выбора”. Другое событие состоит в измерении, оно просто выявляет канал, по которому “частица” проследовала через “устройство-выбора”, но порождает “необратимость” в том смысле, что после измерения для “частицы” и ненаблюдаемой информации (распространяющейся по другим каналам) оказывается невозможным встретиться снова.

В контексте экспериментов с двумя частицами мультиодновременность означает следующее: в момент $(T_{i1})_{i1}$ частица i проходит через лучерасщепляющее зеркало BS_{i1} . Выясняется, в системе отсчета этого устройства частица j уже прошла или нет BS_{j1} (т.е. $(T_{j1} \leq T_{ik})_{ik}$ или нет). В случае альтернативных путей – возможно или нет различить, какой парой путей частицы вошли в BS_{i1} и BS_{j1} в базисе некоторого возможного эксперимента, позволяющего нам отслеживать выходы BS_{i1} и BS_{j1} . Если эти два условия совпали, частица i порождает результаты, учитывающие фазовые параметры частицы j с другой стороны установки, если нет, то частица i порождает результаты без учета фазовых параметров частицы j . В частном случае эксперимента с двумя частицами при “двойном опережении” (before-before timing) [30], каждая частица выбирает путь только в зависимости от локальных параметров, и мультиодновременность предсказывает отсутствие нелокальных корреляций. Таким образом, предсказания для новых экспериментов с движущимися лучерасщепляющими зеркалами, отвечающие мультиодновременности, расходятся с предсказаниями квантовой механики.

3 Квантовый коллапс при измерении исключает относительность одновременности

Тот факт, что результаты измерения становятся детерминированными, когда частица проходит через отслеживаемое “устройство-выбора”, в частности, при выборе между мультиодновременностью и квантовой механикой в Белл-экспериментах с двумя сопутствующими системами отсчета, приводит к необходимости использования движущихся лучерасщепляющих зеркал для генерации “дважды-опережающих (2-before)” воздействий. Тем не менее, в начале работы по подготовке этих экспериментальных тестов возникает вопрос, возможна ли версия мультиодновременности, сохраняющая “коллапс при измерении”, и следует убедиться, что детекторы действительно являются “устройствами-выбора”, в которых результаты становятся детерминированными. Этот вопрос является существенным, так как в зависимости от ответа на него, быть может, следует работать с движущимися детекторами, а не с движущимися лучерасщепляющими зеркалами. Как было сказано выше, нет в принципе ничего, что говорило бы против включения “коллапса при измерении” в теорию со многими системами отсчета. Тот факт, что механика Бома, чисто нерелятивистская теория, использует “коллапс при измерении”, делает такое включение правдоподобным.

Однако можно показать, что в той мере, в которой сохраняется базовый принцип ‘один фотон – один факт регистрации счетчиком’, допущение о коллапсе при измерении принципиально исключает относительность одновременности и, следовательно, влечет выделенную систему отсчета [32]. Ниже мы доказываем, что уже это само по себе допускает эксперименты с одной частицей, и, следовательно, несовместимость коллапса и относительности одновременности глубоко заложена в квантовой механике.

Рассмотрим эксперимент, представленный на рис. 1. Одиночные фотоны, испущенные источником S , попадают в 50-50 лучерасщепляющее зеркало BS и соответственно детектируются каждым детектором $D(+)$ или $D(-)$. С помощью линии задержки DL оптические пути регулируются таким образом, чтобы попадание волны в $D(-)$ происходило в лабораторной системе отсчета чуть-чуть раньше, чем в $D(+)$. Предполагается, что два детектора расположены далеко один от другого, так что световой сигнал, посланный в $D(-)$ в момент поступления волны в $D(-)$, не мог достичь $D(+)$ раньше прибытия волны в $D(+)$.

Если детекторы действительно являются устройствами-выбора, то какой именно детектор сработал, определяется не раньше, чем волна достигнет детекторов. Но если в этот момент может сработать только один детектор, то между двумя детекторами должно иметь место некоторое сверхсветовое взаимодействие (“связь Белла”). Согласно основному свойству мультиодновременности, по прибытии волны в каждый из $D(\sigma)$, $\sigma \in \{+, -\}$, выбор между состояниями “сработал” и “не сработал” детекторов $D(\sigma)$ зависит от того, был ли уже сделан выбор в $D(-\sigma)$ в сопутствующей системе отсчета этих устройств, или нет. Предположим сначала, что оба детектора покоятся в лабораторной системе отсчета: поскольку во время прибытия в $D(-)$ волна еще не поступила в $D(+)$, то выбор в $D(-)$ происходит случайным образом; напротив, выбор в $D(+)$ учитывает выбор в $D(-)$: если $D(-)$ сработал, то $D(+)$ не срабатывает, и наоборот.

Предположим теперь, что детектор $D(+)$ движется таким образом, что прибытие волны в каждый $D(\sigma)$ в сопутствующей ему системе отсчета происходит до прибытия в $D(-\sigma)$. Это может быть гарантировано тем же условием, приведенным в [30], формирования двух опережающих воздействий (before impacts) на входе лучерасщепляющего зеркала. Тогда тот факт, что каждый $D(\sigma)$ сработал, не может зависеть от того, сработал ли $D(-\sigma)$ или нет, и, следовательно, должно происходить вот что – даже если имеется одна и только одна движущаяся через установку частица, в 25% случаев $D(+)$ и $D(-)$ сработают одновременно, и в 25% случаев ни $D(+)$, ни $D(-)$ не сработают оба. Это означает нарушение базового предположения, согласно которому одиночный фотон не может заставить сработать оба детектора. Следовательно, в той мере, в которой мы исходим из принципа ‘один фотон – одно срабатывание счетчика’, квантовый коллапс исключает относительность одновременности.

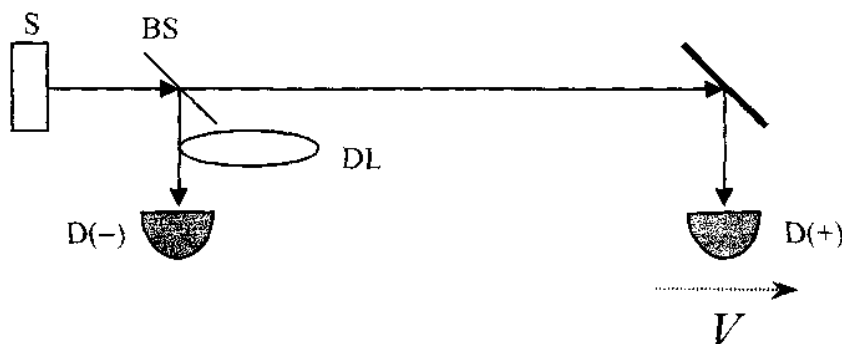


Рисунок 1: Мысленный эксперимент с одиночной частицей в предположении, что приход волны в каждый из детекторов $D(\sigma)$, $\sigma \in \{+, -\}$, происходит в сопутствующей системе отсчета $D(\sigma)$ до прихода волны в $D(-\sigma)$.

4 Предстоящий эксперимент позволит нам выбрать между выделенной системой отсчета и мультиодновременностью

Доказательство, приведенное в предшествующем разделе, означает, что и отложенный коллапс при измерении делает квантовую механику теорией с выделенной системой отсчета. Следовательно, в той мере, в которой мы хотим исключить обратную причинность [33] принципы причинности и ‘один фотон – одно срабатывание счетчика’, квантовая механика должна рассматриваться как теория с выделенной системой отсчета в рамках всех ее основных представлений. В этом смысле реальный статус GRW-теории [22, 23], как кажется, состоит в том, что она является квантовой теорией с “квантовым коллапсом”. Что касается сверхсветовых Белл-взаимодействий (нелокальности), то, как уже отмечалось в разделе 2, они одинаково хорошо

могут быть включены как в квантовую механику с выделенной системой отсчета, так и в мультиодновременность со многими системами отсчета.

В свете данного анализа предстоящий эксперимент с движущимися лучерасщепляющими зеркалами [35] приобретает особое значение: он позволит проверить два взаимоисключающих типа нелокального описания и выбрать между теориями с выделенной системой отсчета и со многими системами отсчета, подобно тому, как Белл-эксперименты дали нам возможность выбрать между локальными и нелокальными теориями.

5 При допущении о существовании выделенной системы отсчета ничто в принципе не противоречит сверхсветовым коммуникациям

Подтверждение квантовой механики экспериментом с движущимися лучерасщепляющими зеркалами означало бы, что требуется отбросить относительность одновременности и принять существование выделенной системы отсчета. Описание с помощью выделенной системы отсчета могло бы быть выполнено так же успешно без сверхсветовой сигнализации в форме теории Бома (без коллапса) [21] или GRW-теории (с коллапсом) [23, 22], как и со сверхсветовой сигнализацией в форме, например, теории Эбергарда [18], нелинейной квантовой механики Вейнберга [19], или даже Лоренц-инвариантных схем [20].

Мы, тем не менее, хотели бы сделать упор на то, что если исходить из существования выделенной системы отсчета, то невозможность сверхсветовых коммуникаций никак не может следовать ни из специальной теории относительности, ни из соображений причинности, связанных с относительностью одновременности (отвергается обратная причинность), так что неясно, какой именно “относительностью” такая невозможность еще может быть обусловлена [34]: в любом случае, с выделенной системой отсчета сверхсветовое распространение информации согласуется с причинностью [20].

А что касается собственно квантовой механики, скажем это еще раз, вывод в целом обусловлен только применяемым формализмом, а не общим принципом: если “несовместимость с относительностью” не может больше быть достигнута, “сверхсветовые коммуникации” перестают быть аргументом против “нелинейной квантовой механикой” [19], и в контексте схемы абсолютного пространства-времени становится совершенно обоснованным объяснение корреляций, возникающих в Белл-экспериментах, наличием конечной сверхсветовой скорости [18].

Более того, в силу экспериментального обоснования, чтобы исключить конфликт с опытами типа Майкельсона – Морли, схемы с выделенной системой отсчета должны исходить из предположения о сверхсветовой скорости распространения энергии по открытым путям [20]. Следовательно, было бы только естественно, чтобы формализм квантовой механики с выделенной системой отсчета использовал такую возможность сверхсветовых коммуникаций.

Все это означает следующее: если предстоящий эксперимент с движущимися лучерасщепляющими зеркалами [35] подтвердит описание с выделенной системой отсчета, то следует серьезно рассмотреть возможность осуществления сверхсветовых коммуникаций с помощью более сложных экспериментов; быть может, соответствующие мысленные эксперименты, уже предложенные в рамках различных нестандартных формализмов [18, 19, 34], могут стать существенным источником вдохновения. В этом контексте верхняя граница для “скорости квантовой информации”, полученная Gisin-Zbinden в эксперименте [29], также может приобрести новое важное значение в связи с тем, что телефонные линии, скорость которых в “10 миллионов раз превышает скорость света”, в принципе оказываются возможными.

6 Заключение

Квантовая механика оказывается теорией с выделенной системой отсчета не только в силу предсказаний, не совпадающих с принципом суперпозиции (теорема Харди) [26], но также и вследствие наличия отложенного коллапса при измерении. Подтверждение квантовой механики в экспериментах с лучерасщепляющими зеркалами может означать, что необходимо признать существование выделенной системы отсчета. В этом контексте ничто не противоречит утверждению, что в практических целях могут быть осуществлены коммуникации со скоростями в 10 миллионов раз больше, чем скорость света. Думать, что такие скорости коммуникации “нереалистичны” означает в действительности разделять наше убеждение, что выделенная система отсчета – это неверная точка зрения, а квантовая механика противоречит предстоящим экспериментам с движущимися лучерасщепляющими зеркалами [35]. В заключение отметим, что единственный экспериментальный результат ожидается в этом году: либо действует мультиодновременность, и квантовая механика ошибочна, либо следует придерживаться выделенной системы отсчета, и возможны в принципе сверхсветовые коммуникации.

Благодарности

Я признателен Nicolas Gisin, Jakub Rembielinski, Valerio Scarani, Gao Shan и Hugo Zbinden за очень полезное обсуждение и общение, и благодарен Ian Percival, Sandu Popescu и John Rarity за обсуждение на семинаре по релятивистской нелокальности (GAP-фонд Odier, Женева, ноябрь 1998). Я также благодарю за поддержку фонд Leman и фонд Odier по психофизике.

Библиография

- [1] R.P. Feynman, *The Feynman Lectures on Physics. Quantum Mechanics*, Massachusetts: Addison Wesley, 1965, p. 1-10.
- [2] A. Shimony, *Conceptual foundations of quantum mechanics*, in: P. Davies (ed.), *The New Physics*, Cambridge: Cambridge University Press (1989), 373-395.
- [3] T. Maudlin *Quantum Non-Locality and Relativity*, Oxford UK & Cambridge USA: Balckwell, 1994, p. 196, 212-213.
- [4] John Wheeler, Interview in: P.C.W. Davies, and J.R. Brown (eds.), *The Ghost in the atom*, Cambridge: Cambridge University Press (1987) 66.
- [5] R. Penrose, *The emperor’s New Mind*, Oxford: Oxford University Press, 1989, p. 286-299.
- [6] A. Zeilinger vs S. Goldstein, *Physics Today*, February (1999) 13-15.
- [7] J.S. Bell, *Physics*, 1 (1964) 195-200, reprinted in: *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*, Cambridge: University Press, 1987.
- [8] A. Aspect, P. Grangier and G. Roger, *Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A New Violation of Bell’s Inequalities*, *Phys.Rev.Lett.*, 49 (1982) 91-94; A. Aspect, J. Dallibard and G. Roger, *Experimental Test of Bell’s Inequalities Using Time-Varying Analyzers*, *Phys.Rev.Lett.*, 49 (1982) 1804-1807.
- [9] J.G. Rarity and P.R. Tapster, *Experimental Violation of Bell’s Inequality Based on Phase and Momentum*, *Phys.Rev.Lett.*, 64 (1990) 2495-2498.
- [10] P.R. Tapster, J.G. Rarity and P.C.M. Owens, *Violation of Bell’s Inequality over 4 km of Optical Fiber*, *Phys.Rev.Lett.*, 73 (1994) 1923-1926.
- [11] W. Tittel, J. Brendel, H. Zbinden, and N. Gisin, *Violation of Bell Inequalities by Photons More than 10 km Apart*, *Phys. Rev. Lett.* 81 (1998) 3563-3566, and quant-ph/9806043.
- [12] W. Tittel, J. Brendel, N. Gisin, and H. Zbinden, *Long-distance Bell-type tests using energy-time entangled photons*, *Phys. Rev. A* 59 (1999) 4150-4163, and quant-ph/9809025.

- [13] G. Weihs, T. Jennewein, Ch. Simon, H. Weinfurter, and A. Zeilinger, Violation of Bell's inequality under strict Einstein locality conditions, *Phys.Rev.Lett.* 81 (1998) 5039-5043, and [quant-ph/9810080](#).
- [14] D. Bouwmeester, J.-W. Pan, M. Daniell, H. Weinfurter & A. Zeilinger, Observation of three-photon Greenberger-Horne-Zeilinger entanglement, *Phys.Rev.Lett.* 82 (1999) 1345-1349, and [quant-ph/9810035](#).
- [15] Ph. H. Eberhard, *Nuovo Cimento B* 38 (1977) 75, and 46 (1978) 392 (Appendix D).
- [16] G. C. Ghirardi, A. Rimini, and T. Weber. A general argument against superluminal transmission through the quantum mechanical measurement process. *Lett. Nuovo Cimento* 27 (1980) 293-298.
- [17] D.M. Greenberger, M.A. Horne and A. Zeilinger, Multiparticle interferometry and the superposition principle *Physics Today*, August (1993) 25.
- [18] Ph. H. Eberhard, A realistic model for Quantum Theory with a locality property, in: *Quantum theory and pictures of reality*, W. Schommers (ed.) New York: Springer 1989, p. 169-215.
- [19] N. Gisin, Weinberg's non-linear Quantum Mechanics and supraluminal communications, *Phys. Lett. A*, 143 (1990) 1-2.
- [20] P. Caban and J. Rembieliński, Lorentz-covariant quantum mechanics and preferred frame, *Phys. Rev. A* 59 (1999) 4187-4196; J. Rembieliński, Tachyons and the preferred frames, *Int. J. Mod. Phys. A* 12 (1997) 1677, and e-print: [hep-th/9607232](#) ; private e-mail communication 1.06.2000.
- [21] D. Bohm, A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables, *Phys. Rev.*, 85 (1952) 166-193; D. Bohm and B.J. Hilley, *The Undivided Universe*, New York: Routledge, 1993.
- [22] J.S. Bell, *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*, Cambridge: University Press, (1987).
- [23] G. C. Ghirardi, A. Rimini, and T. Weber, Unified dynamics for microscopic and macroscopic systems *Phys. Rev. D*, 34 (1986) 470.
- [24] G. C. Ghirardi, R. Grassi , and P. Pearle, Relativistic Dynamical Reduction Models: General Framework and Examples, *Foundations of Physics*, 20 (1990) 1271-1316.
- [25] I. C. Percival, Cosmic quantum measurement [quant-ph/9811089](#).
- [26] L. Hardy, Quantum Mechanics, Local Realistic Theories, and Lorentz-Invariant Realistic Theories, *Phys. Rev. Lett.*, 68 (1992) 2981-2984.
- [27] Y. Aharonov and D. Z. Albert, Can we make sense out of the measurement process in relativistic quantum mechanics?, *Phys. Rev. D*, 24 (1981) 359-370; Is the usual notion of time evolution adequate for quantum-mechanical systems?, *Phys. Rev. D*, 29 (1984) 228-234.
- [28] A. Peres, Relativistic Quantum Measurements, in: D.M. Greenberger, M.A. Horne, A. Zeilinger (eds.), *Fundamental Problems in Quantum Theory*, New York: New York Academy of Sciences, 1995, p.445.
- [29] H. Zbinden, J. Brendel, W. Tittel, and N. Gisin, Experimental Test of Relativistic Quantum State Collapse with Moving Referential Frames, [quant-ph/0002031](#).
- [30] A. Suarez and V. Scarani, Does entanglement depend on the timing of the impacts at the beam-splitters?, *Phys. Lett. A*, 232 (1997) 9-14, and [quant-ph/9704038](#).
- [31] A. Suarez, Relativistic nonlocality in an experiment with 2 non-before impacts, *Phys. Lett. A* 236 (1997) 383-390, and [quant-ph/9711022](#).
- [32] A. Suarez, Quantum mechanics versus multisimultaneity in interferometer-series experiments, *Phys. Lett. A*, 250 (1998) 39, and [quant-ph/9812009](#).
- [33] O. Costa de Beauregard, Lorentz and CPT invariances and the EPR correlations, *Phys.Lett.A*, 236 (1997) 602-604, and references therein.
- [34] Gao Shan, Quantum superluminal communication does not result in the causal loop, [quant-ph/9906113](#); *Quantum Motion*, chapter 8, unpublished manuskript.
- [35] A. Suarez, Quantum mechanics versus multisimultaneity in experiments with acousto-optic choice-devices, *Phys. Lett. A*, 269 (2000) 293-302.