

Антуан Суарес,
Центр квантовой философии (Цюрих, Швейцария)

ИСТОРИЯ НАШИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Перевод М.Х.Шульмана (shulman@dol.ru, www.timeorigin21.narod.ru)

Antoine SUAREZ: suarez@leman.ch

2 April 2003 , Zurich

The Story behind the Experiments (www.quantumphil.org)

Об авторе

Д-р Антуан Суарес (Antoine Suarez) защитил докторскую диссертацию (Ph.D.) в области естественных наук в Швейцарском Федеральном Технологическом Институте (Swiss Federal Institute of Technology, Eidgenossische Technische Hochschule Zurich, или ETH) в 1975 году.

Еще будчи в ETH, он начал интересоваться не только философским значением квантовой механики, но также генетической эпистемологией. Более чем в течение десяти лет он участвовал в исследовании проблемы накопления знаний, который привел к развитию внедрения методов обучения детей математике и научным дисциплинам. С 1985 по 1993 год он руководил организацией Swiss think tank в Институте междисциплинарных исследований (Institute for Interdisciplinary Studies – IIS), и при существенной поддержке Фонда Лемана (Leman Foundation) осуществлял исследования, которые были связаны с пониманием философами, теологами и специалистами по этике научного прогресса.

Антуан Суарес был первым (вместе с Валерио Скарлани в 1997 году), кто предложил эксперименты с движущимися измерительными устройствами с целью выяснения нестыковки между квантовой механикой и теорией относительности, особенно с целью выяснить, имеется ли упорядочение в реальном времени при проявлении нелокальных влияний. Он активно сотрудничал с группой Николя Жизэна (Nicolas Gisin) в реализации этих экспериментов. Наряду со статьями в научных журналах, разделами в коллективных научных трудах и ранними исследованиями в области связи между мышлением и поступками в юношеском возрасте, д-р Антуан Суарес является со-издателем (вместе с Alfred Driessen) книги “Математическая неразрешимость, квантовая нелокальность и вопрос существования Бога” “Mathematical Undecidability, Quantum Nonlocality and the Question of the Existence of God” (Kluwer, 1997).

Джон Белл

В 1988 году я установил контакт с Джоном Беллом из Европейской Лаборатории Физики Частиц в ЦЕРН (European Laboratory for Particle Physics, CERN), находившейся в Женеве. При его поддержке и сотрудничестве я наладил деятельность Центра Квантовой Философии (Center for Quantum Philosophy), информационные выступления в ЦЕРН и в различных европейских университетах. Целью этой деятельности было стимулировать обсуждение философского и научного вызова, проистекающего из квантовой теории, и

показать, что эта теория в настоящее время является неотъемлемой частью науки и культуры. В ЦЕРН среди прочих выступили: Гервиг Шоппер (Herwig Schopper), Джон Белл (John Bell), Константин Пирон (Constantin Piron), Николя Жизэн (Nicolas Gisin), Эшер Перес (Asher Peres), Джон Эллис (John Ellis).

Отдельного упоминания заслуживает коллоквиум в Кельне (Германия), прошедший 13-14 мая 1990 г. и организованный совместно с Институтом Линдентала (Lindenthal-Institute) и Институтом Теоретической Физики (Institute for Theoretical Physics) Кельнского университета. В нем участвовали два главных лидера в исследовании нелокальности: Джон Белл и Антон Цайлингер (Anton Zeilinger).

Во время коллоквиума в ЦЕРН 22 января 1990 Джона Белла спросили, допускает ли он, что теория относительности и квантовая механика могут оказаться несовместимыми. Джон Белл ответил:



"Нет, я не могу этого утверждать, я думаю, что в один прекрасный день кто-либо найдет способ доказать, что они совместимы. Однако я этого пока еще не вижу. Мне очень сложно думать об этих теориях как о чем-то целом, но я думаю, кому-то это удастся, и все мы сразу увидим, что мои представления были слишком ограниченными."

Этот ответ побудил меня к исследованиям проблемы нестыковки квантовой механики с теорией относительности. Дело в том, что квантовая механика предсказывает корреляцию исходов опыта с двумя запутанными частицами в двух областях пространства времени, разделенных пространственно-подобным интервалом. Эксперименты типа, предложенного Беллом, выполненные за последние двадцать лет, заставляют думать о нарушении локальной причинности. При вышеописанных измерениях в двух взаимно удаленных областях пространства, обнаруживаются статистические корреляции. Два вылетевших из общей точки фотона, каждый из которых должен при измерении "выбрать" одно из двух значений (скажем, "+" или "-"), выбирают одно и то же значение, так что мы получаем лишь совпадающие результаты [+ , +] или [- , -].

Нарушение неравенств Белла гарантирует, что эти корреляции не могут быть обусловлены скрытыми локальными переменными. Запутанные частицы ведут себя так, как будто между ними возникает взаимосвязь, действующая со сверхсветовой скоростью.

Мультиодновременность

Я был полностью убежден в том, что должно существовать упорядоченное-во-времени причинное описание нелокальных корреляций в терминах "раньше (before)" и "позже (after)". В самом деле, такое описание вполне возможно в общеизвестных экспериментах типа Белла, где все приборы неподвижны в общей лабораторной системе отсчета. Поскольку время излучения фотонов не является в точности одинаковым, а оптические волокна, по которым распространяются фотоны от источника к измерительным устройствам, слегка отличаются по длине, то по часам лабораторной инерциальной системы отсчета одно из измерений всегда происходит раньше другого. Поэтому частица, попавшая в измерительное устройство позже, может "подозреваться" в том, что она каким-то образом учитывает результат, полученный для ранее измеренной частицы. Действительно, Белл именно так пытался объяснить то, что происходит, и на этом пути открыл квантовую нелокальность. Упорядочение, при котором одно измерение выполняется раньше по времени, а другое – позже, можно классифицировать как упорядочение типа "раньше-позже (before-after)" или "позже-раньше (after-before)". При измерениях, в которых все измерительные устройства покоятся, удается

объяснить квантовые корреляции в терминах упорядоченной-во-времени причинности.

Но как быть с экспериментами с движущимися измерительными устройствами, где следует говорить о нескольких различных инерциальных системах? В этом случае время прибытия определяется по разным часам, так что то, что происходит “позже” по лабораторным часам, может произойти “раньше” по движущимся часам. Тогда оказывается возможным определить другие упорядочения во времени. Если каждое из измерительных устройств в собственной системе отсчета первым зарегистрировало фотон, мы имеем упорядочение типа раньше-раньше (before-before timing). Если каждое из измерительных устройств в собственной системе отсчета зарегистрировало фотон позже другого устройства, мы имеем упорядочение типа позже-позже (after-after timing). Можно ли также дать упорядоченное-во-времени причинное объяснение релятивистским экспериментам, используя движущиеся приборы? Я предполагал, что да, и разработал альтернативное нелокальное описание, названное “мультиодновременностью (multisimultaneity)”. В нем упорядоченное-во-времени описание нелокальных корреляций распространяется на эксперименты с упорядочением типа раньше-раньше и позже-позже.

Рассмотрим, например, эксперименты, в которых измерительные устройства движутся таким образом, что каждое из них в собственной системе отсчета первым принимает фотон (упорядочение типа раньше-раньше). Тогда выбор каждой частицы становится независимым от выбора другой и, в соответствии с мультиодновременностью, нелокальные корреляции должны исчезнуть. Напротив, квантовая механика требует, чтобы частицы оставались нелокальными и коррелировали независимо от типа упорядочения, даже в ситуации типа раньше-раньше.

По сути дела, общеизвестные эксперименты в тот период времени не позволяли нам сделать выбор между мультиодновременностью и квантовой механикой. Требовались новые эксперименты с движущимися приборами.

Моника и Марсель Одье (Monique et Marcel Odier)



Поскольку получить средства на проведение экспериментов из общественных фондов оказалось затруднительным, в 1992 году я обратился в фонд Марселя Одье (Marcel Odier), владельца старинного частного женевского банка, человека с глубоким интересом к метафизическим аспектам квантовой механики.

Поскольку интуитивно он разделял точку зрения, согласно которой концепция времени не работает применительно к квантовым феноменам, он сразу заинтересовался этим проектом и вместе со своей женой Моник (Monique) спонсировал его в рамках своего фонда исследований в области психофизики (Fondation Odier de Psycho-physique). В качестве научного консультанта фонда Оливье Коста де Борегар (Olivier Costa de Beauregard) подтвердил значимость эксперимента и все время горячо поддерживал проект, сопровождая его стимулирующими комментариями. На снимке слева: Моник и Марсель Одье, Антон Цайлингер и миссис Николь Коста де Борегар во время обеда в Инсбруке.

Филипп Эберхард (Philippe Eberhard) и Джулион Шинс (Juleon Schins)

9 июня 1994 года я впервые представил мои идеи на семинаре в ЦЕРН под заголовком: "Зависят ли ЭПР-корреляции от выбора инерциальной системы

отсчета?". Филипп Эберхард получил в Беркли аннотацию доклада, опубликованную в бюллетене ЦЕРН № 23/94, и немедленно связался со мной. Его теория, хотя и не связанная с мультиодновременностью, также предсказывала исчезновение корреляций при некоторых условиях, и он предложил изучить возможность проведения общего эксперимента. В это время со мной также контактировал Джулион Шинс, который работал в Париже в Лаборатории Прикладной Оптики (Laboratoire d'Optique Appliquee) в ENSTA, он очень помог мне в формулировке требований к будущему эксперименту. Филипп, Джулион и я встретились 2 апреля 1995 года в Женеве по приглашению Марселя Одье.

Антон Цайлингер (Anton Zeilinger)

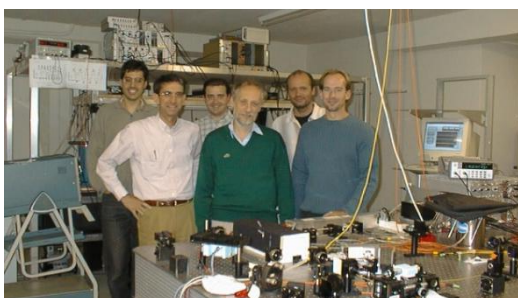
После нашей встречи в Женеве Филипп и Джулион в разное время имели возможность посетить лабораторию Антона Цайлингера в Инсбруке и оба обсуждали с ним возможность проведения эксперимента типа раньше-раньше.

Антон проявил к этому интерес и пригласил меня представить мои предложения его группе. В течение 1995 и 1996 годов у нас состоялись очень интенсивные и успешные дискуссии с ним, с Paul Kwiat и Harald Weinfurter, которые в это время работали в группе Антона. 5 и 6 декабря 1995 года Антон сердечно принял Моник и Марселя Одье, Оливье Коста де Борегар и меня, чтобы поговорить о возможной финансовой поддержке. В группе Антона Цайлингера я получил замечательные рекомендации относительно требуемого экспериментального оборудования. Однако становилось все более и более ясным, что релятивистское упорядочение типа "раньше-раньше" предполагает наличие между двумя измерительными приборами существенно большего расстояния чем те, с которыми работали в Инсбруке.

Валерио Скарани (Valerio Scarani)

С целью открытого обсуждения эксперимента научной общественностью я совместно с Валерио Скарани подготовил статью с описанием эксперимента с движущимися измерительными устройствами, способного проверить различие в предсказаниях квантовой механики и мультиодновременности. Статья была опубликована в июле 1997 года [Phys. Lett. A, 232 (1997) 9-14]. Мы пришли к заключению, что эксперимент типа раньше-раньше может быть реализован с разумными скоростями (порядка 300 км/ч) и предусматривает измерительные устройства, разделенные расстоянием порядка 10 км. В 1997 году я также посетил в Малверне (Malvern, Великобритания) Джона Рэрити (John Rarity) и Пола Тэпстера (Paul Tapster). Они к этому времени выполнили Белл-эксперимент с 4-км оптоволоконном; хотя фактическое расстояние между устройствами составляло всего несколько метров, я рассчитывал убедить их разнести измерительные приборы на несколько километров.

Николя Жизэн (Nicolas Gisin)



Сразу после отъезда в Великобританию в августе 1997 года я узнал, что Николя Жизэн (Группа Прикладной Физики, Женевский университет) и его сотрудники осуществили эксперимент, который показал наличие корреляций на расстоянии более 10 км, т.е. на таком, которое соответствовало

предложенному мной эксперименту. В Малверне Джон Рэрити согласился с тем, что сотрудничество с Николя Жизэном было бы наилучшим решением. Вернувшись 7 октября 1997 года, я встретился в Женеве с Гуго Збинденом (Hugo Zbinden) и Вольфгангом Титтелем (Wolfgang Tittel) из Группы Прикладной Физики для предварительного обсуждения такой возможности. Они очень заинтересовались и передали свой энтузиазм Николя Жизэну. В результате 12 декабря 1997 Марсель Ожье, Николя Жизэн и я подписали соглашение о намерении выполнить эксперименты с использованием релятивистской упорядоченности во времени, и особенно эксперимент типа "раньше-раньше". Затем Николя Жизэн, Гуго Збинден, Вольфганг Титтель и Андрей Стефанов начали работу. Я также активно участвовал в осуществлении проекта. На фото слева показана часть команды, участвовавшей в подготовке эксперимента.

Прежде всего, нам следовало решить, какие компоненты измерительных устройств должны быть движущимися в реальном эксперименте. Поскольку каждый исход опыта предполагал выбор между двумя значениями (+ или —), необходимо было привести в движение устройство, которое как раз и осуществляет этот выбор (выбирающее устройство). Это означает, что если используется описание, предполагающее квантовый коллапс при измерении, то движущимися должны быть детекторы; если же используется описание, не опирающееся на квантовый коллапс (типа теории Боба), то речь должна идти о светоделителях. Поскольку осуществить движение светоделителей было большой технической проблемой, Николя Жизэн и Гуго Збинден решили начать с движущихся детекторов.

26-27 ноября 1998 года мы организовали в Женеве коллоквиум с участием Йэна Пэрсиваля (Ian Percival), Санду Попеску (Sandu Popescu) и Джона Рэрити (John Rarity) с целью оценки хода работ. Все были согласны, что эксперимент с движущимися приборами должен стать решающим для выбора между теорией относительности и квантовой механикой. В феврале 2000 мы получили первые результаты эксперимента с одним движущимся детектором. Они показали согласие с квантовой механикой.

Гуго Збинден – Андрей Стефанов

Тем временем у Гуго Збиндена появилась блестящая идея: использовать бегущие акустические волны в качестве движущихся светоделителей, что позволяет осуществить эксперименты типа "раньше-раньше". С помощью ряда технологических ухищрений Андрей Стефанов осуществил эту идею в июне 2001 года. В пятницу 22 июня 2001 года утром я был в Женеве на коллоквиуме, где Андрей Стефанов докладывал о первых полученных им результатах. Они опровергали мультиодновременность, и я почувствовал себя как на собственных похоронах. После ланча мы с Андреем пошли в лабораторию, чтобы проверить конфигурацию установки, и обнаружили, что вследствие ошибки в ориентации измерительных устройств фактически были выполнены эксперименты типа "раньше-позже" вместо "раньше-раньше".

В понедельник 25-го Андрей возобновил измерения с правильной конфигурацией. Во вторник 26-го в 19:15 я вдруг осознал, что моя вера в невыполнение требований квантовой механики была основана на следующем предубеждении: я предполагал, что причинность всегда связана со временем. Но не существует аргументов против идеи, что могут существовать причины, не ограничиваемые пространственно-временными факторами. В этот момент я понял, что именно такой механизм причинности стоит за квантовой механикой. На следующее утро я позвонил Андрею и сообщил ему о том, чего я теперь ожидаю

от эксперимента, т.е. что правильные измерения должны подтвердить квантовую механику, как это и оказалось на самом деле.

Окончательные результаты

Окончательные результаты экспериментов с движущимися измерительными устройствами исключили возможность описания квантовых корреляций с помощью реальных часов, в терминах "раньше" и "позже"; феномен квантовой нелокальности не может быть описан в терминах пространства и времени. Это означает, что для нелокальных корреляций отсутствует упорядочение во времени, так что причинный порядок не может быть сведен к упорядочению во времени. Квантовые корреляции каким-то образом выявляют зависимость между событиями, или логический порядок. Эксперимент показывает, что эта зависимость, или логическая упорядоченность, лежит за пределами упорядочения во времени. В реальном проявлении феномен квантовой нелокальности имеет место, но время, как представляется, здесь не играет роли.

Эта чудесная история не была бы возможной без смелости, которую проявили Николя Жизэн и Гуго Збинден, участвуя в исследовании, лежащим вне научного "мэйн-стрима", а также без дара экспериментатора Андрея Стефанова и щедрости, проявленной Моник и Марселем Одье.