

Глобальная нелокальность процессов в квантовой механике и теологическое понятие Книги Жизни

Решетов Владимир Николаевич
к.ф.-м.н., доцент НИЯУ МИФИ
nreshetov@yandex.ru

ДЖ. ГРИНШТЕЙН, А. ЗАЙОНЦ
КВАНТОВЫЙ ВЫЗОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ОСНОВАНИЙ КВАНТОВОЙ
МЕХАНИКИ



ДЖОРДЖ ГРИНШТЕЙН
Профессор знаменитого Амхерст колледжа
в США. Известен работами в области
астрофизики и основ квантовой механики



АРТУР ЗАЙОНЦ
Профессор, декан физического
факультета Амхерст колледжа



АРИСТОВ ВИТАЛИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ
Член-корреспондент РАН, зав.
кафедры МФТИ, автор более 300
работ по прикладной физике



НИКУЛОВ АЛЕКСЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ
Известный специалист и автор более 60 работ
по сверхпроводимости, основам квантовой
механики и квантовым вычислениям



Диалог двух студентов

- Как ты думаешь, наш мир действительно глобально нелокален или в нем нет даже элемента объективной реальности?
- Я думаю на экзамене надо делать вид, что никаких проблем с интерпретацией квантово-механических процессов нет, а в жизни надеяться на то, что все мы находимся в одной лодке и ее лучше сильно не раскачивать.

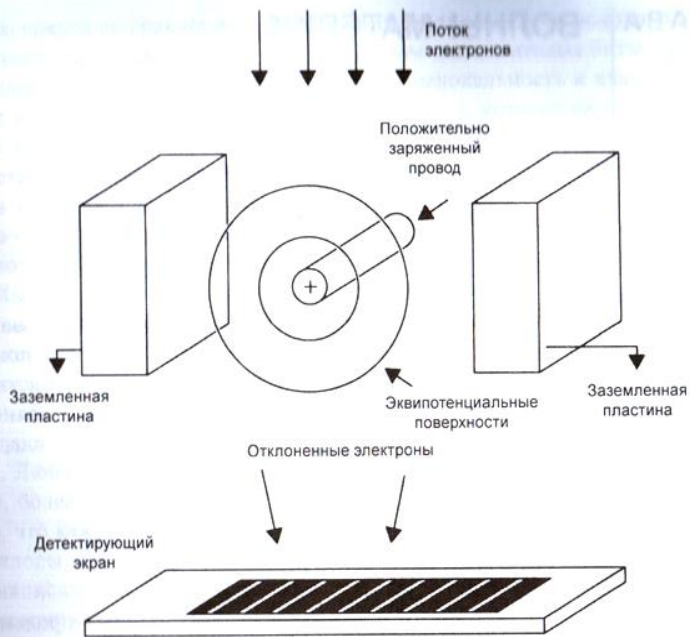
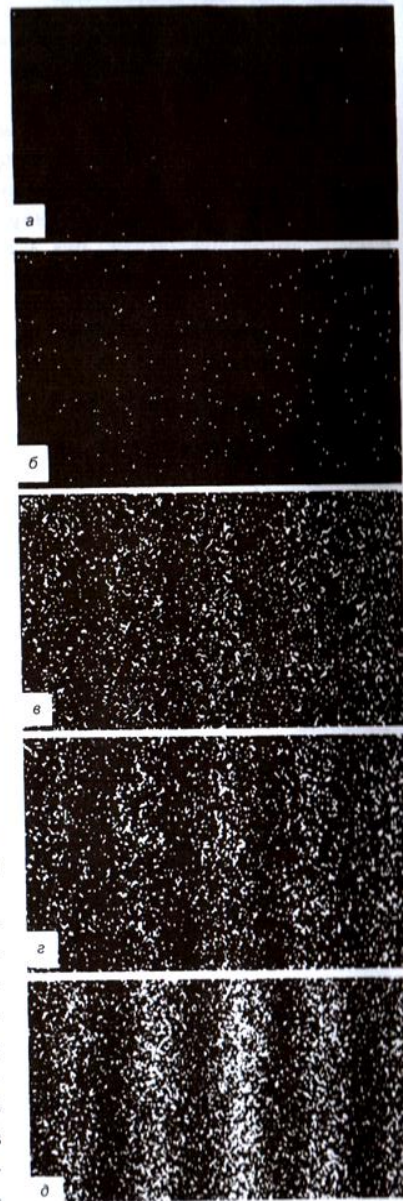


Рис. 1.1. Практическая реализация классического эксперимента по наблюдению интерференции. Схема эксперимента, использованная Тономура и др. для демонстрации интерференции волн материи. Электроны проходят между двумя параллельными заземленными пластинами и отклоняются тонким проводом с положительным потенциалом, находящимся между ними. Источник: А. Тономура, Ж. Эндо, Т. Матсуда, Т. Кавасаки и Х. Егава, «Демонстрация интерференционной картины от единичных электронов.» *Amer. J. Phys.*, v. 57, p. 117 (1989)



Рис. 1.2. Схема классического эксперимента по наблюдению интерференции, практическая реализация которого показана на рис. 1.1. Обратите внимание на подобие этой схемы для наблюдения интерференции электронов рис. 1.11, на котором изображена схема классического эксперимента на двойной щели, демонстрирующего существование волн

Рис. 1.3. Экспериментальное подтверждение существования волн материи. Каждая точка обозначает попадание электрона на детектирующий экран. В (а) были зарегистрированы 10 электронов, в (б) 100, в (в) 3000, в (г) 20 000 и в (д) 70 000. Полосчатая картина — отличительный признак интерференции



дом с пленкой находилась система оптических волокон, по которым фотоны без изменения передавались к фотокатоду.

В фотокатоду каждый слабый импульс света преобразовывался в слабый импульс электронов. Число электронов сильно возрастало в многоканальной солевой пластине, состоящей из крошечных усилительных электронных трубок, при прохождении этого импульса от фотокатода к сенсору изображения. В результате на сенсорном экране получалось точное изображение событий на флуоресцентной пленке. Данные с сенсора изображения обрабатывались и подавались на видеомонитор, таким образом, что положение каждой светящейся точки на мониторе соответствовало месту на пленке, в которое попадали первичные электроны, ускоренные в поле 50 кВ.

Вспышки на видеомониторе регистрировали появление каждого электрона. Вначале кажется, что эти вспышки распределены более или менее равномерно по экрану. Но со временем начинают появляться намеки на определенную картину. Кажется, что вспышки предпочитают появляться в одних местах и избегают другие места экрана. Тономура с коллегами ис-

Дифракция электронов

где e — заряд электрона и t время, в течение которого было приложено напряжение. Поскольку только одна из трубок была подключена к батарее, возникает дополнительная разность фаз $\Delta\phi$ между двумя путями через интерферометр, которая смещает интерференционную картину на соответствующую величину (см. рис. 4.14). Это и есть эффект Ааронова—Бома.

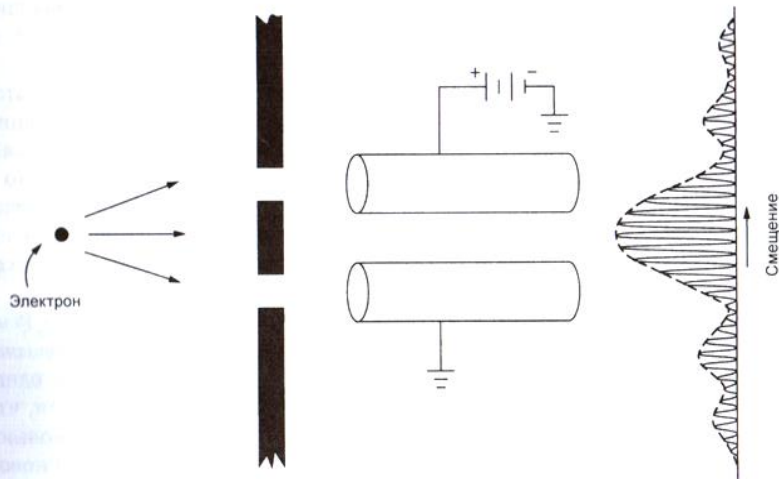


Рис. 4.14. Схема эксперимента Ааронова—Бома (электрическая версия). Проводящие трубки помещены позади каждой щели. Напряжение прикладывается к одной из них во время пролета через нее электрона. Это смещает картину интерференции на двойной щели, хотя никакая сила не действует на электрон. Интерференционная картина состоит из осцилляций с большим периодом от одиночной щели и из осцилляций с меньшим периодом от двух щелей

В магнитной версии этого эффекта вместо двух проводящих трубок используется соленоид, расположенный между двумя щелями (рис. 4.15) и создающий внутри себя магнитный поток Φ . Показано, что этот поток приводит к изменению разности фаз между двумя путями

$$\Delta\phi = e\Phi / \hbar c. \quad (4.24)$$

Эта изменение разности фаз также смещает интерференционную картину.

Подчеркнем, что смещение интерференционной картины происходит без каких-либо сил, действующих на электрон. В электрической версии это сила отсутствует, так как внутри трубок не создается электрических полей. В магнитном варианте электрон не проходил через соленоид, а вне него магнитное поле и силы равны нулю.

На первый взгляд, кажется, что вся интерференционная картина должна сместиться вверх. Не значит ли это, что каждый электрон отклонился вверх, и в этом и состоит эффект Ааронова—Бома?

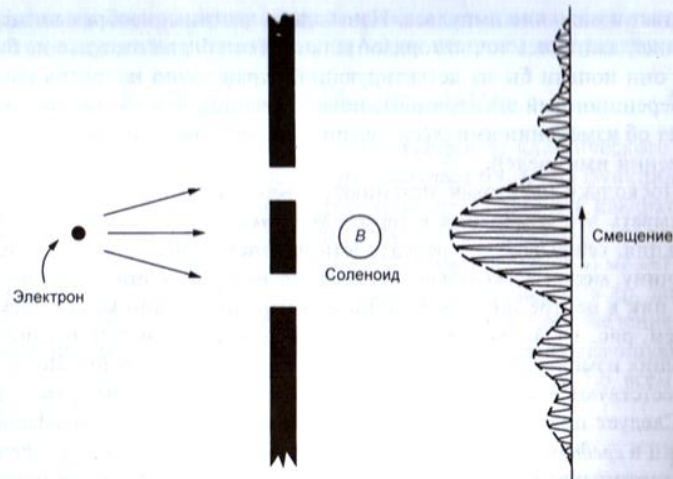


Рис. 4.15. Схема эксперимента Ааронова—Бома (магнитная версия). Небольшой соленоид создает внутри себя магнитный поток, который вызывает смещение интерференционной картины, несмотря на то, что электрон не проходит через область с магнитным полем В. Прерывистая линия показывает огибающую от дифракции на одной щели, которая остается неизменной. Внутри нее картина интерференции на двух щелях (сплошная линия) смещается магнитным потоком Φ

Этого не происходит. Если мы рассмотрим внимательнее рис. 4.15, мы увидим, что не вся картина смещается вверх. Прерывистая линия в этом рисунке обозначает огибающую кривую, в пределах которой наблюдается интерференция. Эта огибающая кривая, возникающая от дифракции на каждой из щелей, не изменяется магнитным потоком! Различные максимумы интерференционной картины стали больше или меньше, но они все остались в пределах той же огибающей кривой. Например, центральный пик переместился вверх и стал меньше, что означает уменьшение вероятности обнаружения электрона в этой точке. Тот же пик, расположенный ниже, стал больше. Если мы проинтегрируем по всей картине интерференции, то окажется, что в среднем никакого отклонения электрона не было! Наиболее удивительной особенностью эффекта Ааронова—Бома является отсутствие сил. Интерференционная картина смещается без каких-либо сил, действующих на электроны. Если мы будем фокусировать наше внимание, анализируя изменение импульса в эксперименте Ремпа.

Изменение импульса в интерференционных экспериментах

Прежде всего, мы должны обратить внимание на то, что даже обычный интерференционный эксперимент, например показанный на рис. 1.2, пред-

В том числе и без явного силового воздействия

Атом + атом в целом вакуум

брос по скоростям, при средней скорости $v_T = (3k_B T/m)^{1/2}$, соответствующей средней кинетической энергии $E_{kin} = mv_T^2/2 = 3k_B T/2$. Для уменьшения разброса по скоростям экспериментаторы использовали систему экранов с горизонтальными щелями. При свободном движении по параболической траектории в гравитационном поле Земли от источника к экрану через щель проходили только молекулы, имеющие скорость в определенном интервале значений. Таким образом, удалось получить поток молекул с небольшим разбросом по скоростям. Например, при тепловой скорости $v_T \approx 93$ м/с, соответствующей температуре сублимации $T = 560$ К, выделялся поток молекул $C_{60}F_{48}$ со средней скоростью $v_m \approx 105$ м/с и разбросом $\Delta v/v_m \approx 0,2$.

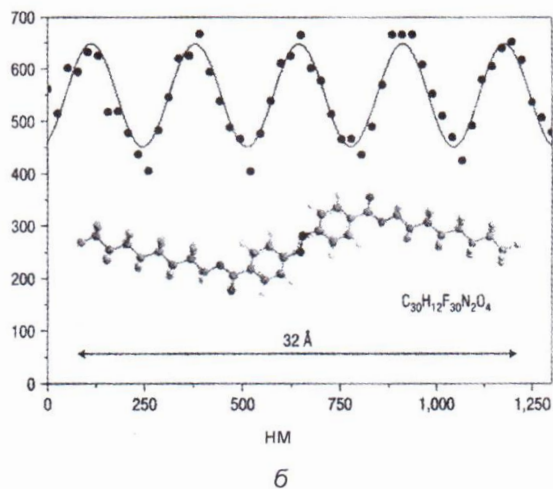
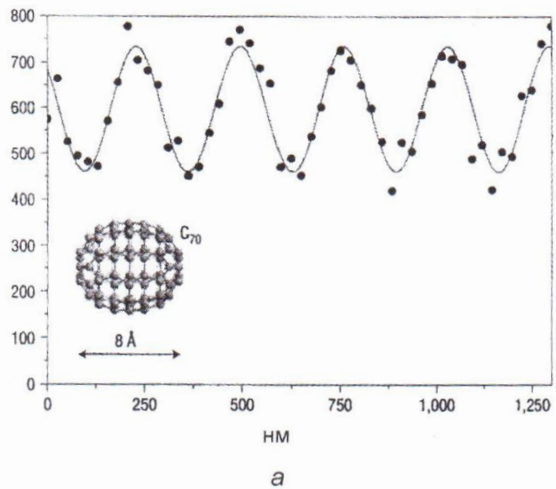


Рис. 11.2. Зависимости числа молекул, фиксируемых детектором за 3 с, фуллерена C_{70} диаметром 0,8 нм (*a*) и длинных молекул $C_{30}H_{12}F_{30}N_2O_4$ длиной 3,2 нм (*б*) от смещения третьей решетки интерферометра Тальбота—Лау, наблюдавшиеся в работе⁶. Максимальная модуляция интенсивности потока при расстоянии между решетками, равном длине Тальбота, доказывает существование интерференции при длине волны де Бройля $\lambda \approx 0,004$ нм, много меньшей размера молекул

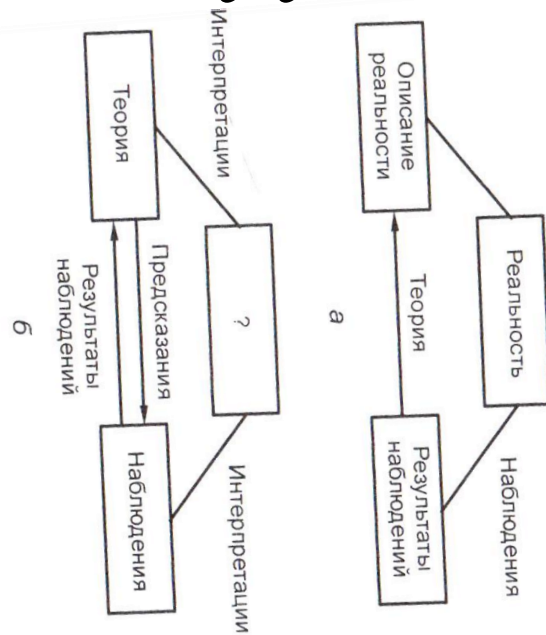


Рис. 10.2. *a* — Цель эмпирической науки — выявление и описание реальности, существующей независимо от акта наблюдения. Между реальностью и ее наблюдением. Между реальностью и ее наблюдением должно соответствовать, согласно однозначному соответствие: *б* — согласно копенгагенской интерпретации, квантовая теория должна обеспечить предсказание результатов измерений, и не имеет смысла говорить о том, что невозможно наблюдать

Интерференция и сверхпроводимость

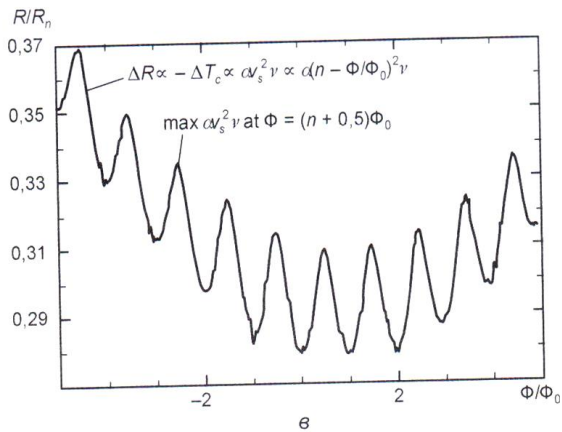
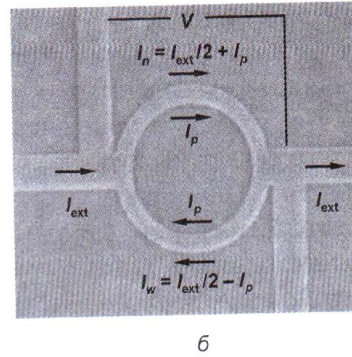
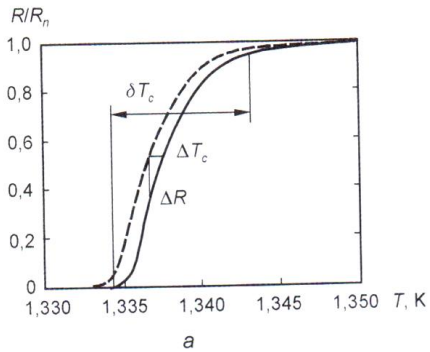


Рис. 12.2. Резистивный сверхпроводящий переход алюминиевого кольца с $T_c \approx 1,337$ К (а). Изменение критической температуры на $\Delta T_c \approx 0,001$ К приводит к изменению сопротивления на $\Delta R \approx 0,2R_n$ при ширине перехода $\delta T_c \approx 0,01$ К. Схема измерения осцилляций Литтла—Паркса (б). Сопротивление определяется, как отношение $R = V/I_{ext}$ напряжения V , измеряемого на потенциальных контактах, к величине внешнего измерительного тока I_{ext} , пропускаемого через кольцо. Использована микрофотография реального алюминиевого кольца радиусом $r \approx 2$ мкм. Пример осцилляций сопротивления Литтла—Паркса, измеренных на подобном кольце (в)

проводящее кольцо, рис. 12.6. Отметим, что такое кольцо, «разорванное» двумя переходами Джозефсона, называется сверхпроводящим квантовым интерферометром. Интерференционной картиной в этом случае является зависимость критического тока такого интерферометра, измеряемого в геометрии, показанной на рис. 12.2, от магнитного потока внутри него. Такая же зависимость наблюдается и на кольце без переходов Джозефсона. Пример такой зависимости, показанной на рис. 12.3, можно рассматривать как пример интерференционной картины сверхпроводящего квантового интерферометра.

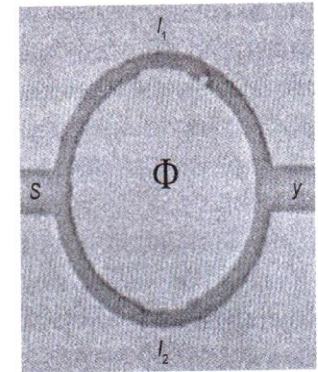
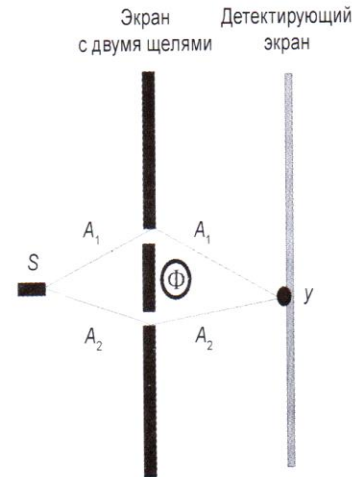
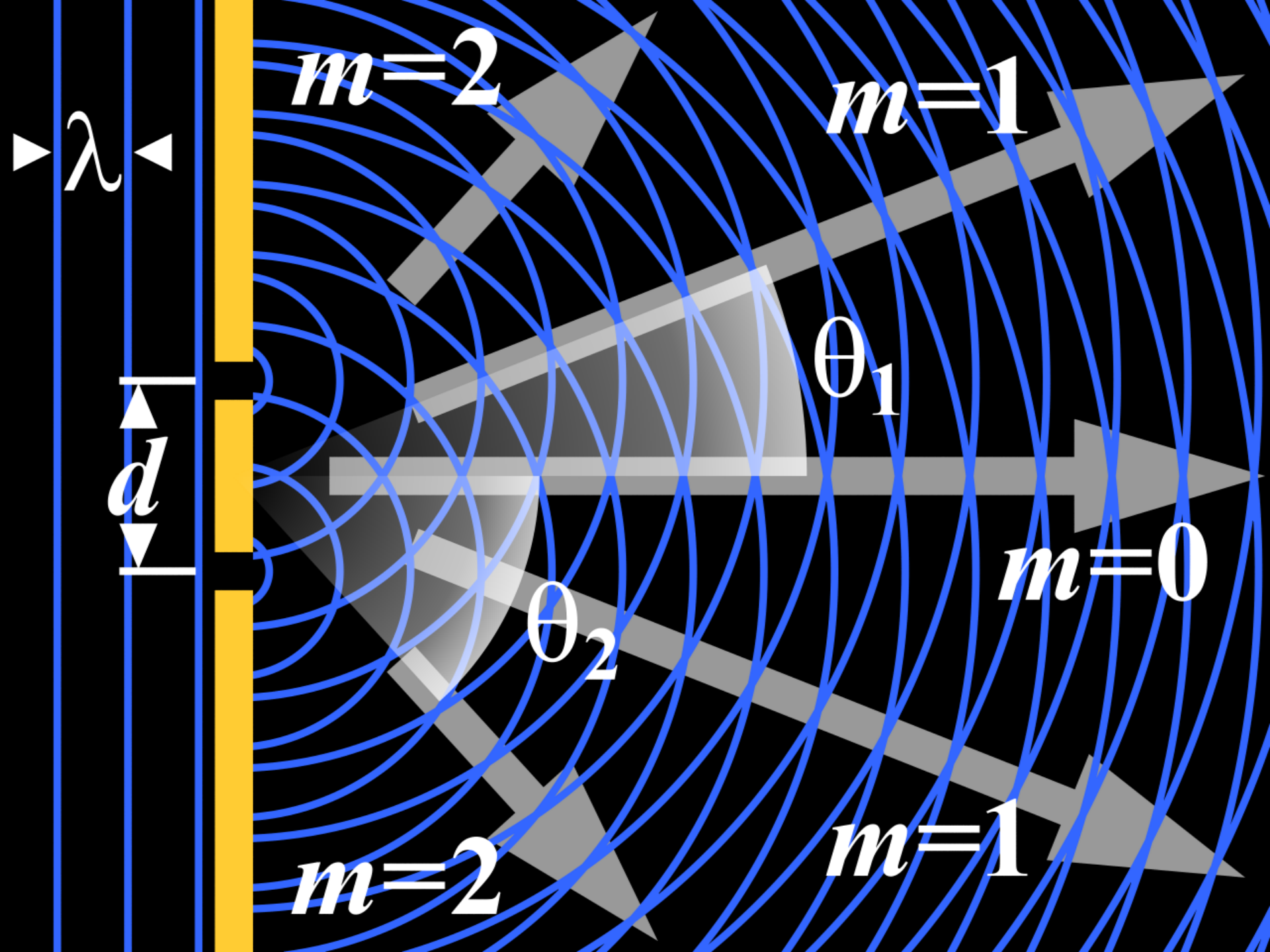


Рис. 12.6. Эффект Ааронова—Бома в эксперименте по интерференции на двух щелях и в кольце. В эксперименте по интерференции и в кольце рассматривается разность набега фазы волновой функции при движении по двум путям, верхнему 1 и нижнему 2, от точки S к точки y. В обоих случаях эффект связан с тем, что магнитный поток изменяет эту разность фаз. Но если в первом случае происходит коллапс волновой функции и поэтому разность фаз не квантуется, то во втором случае коллапс невозможен и разность фаз квантуется



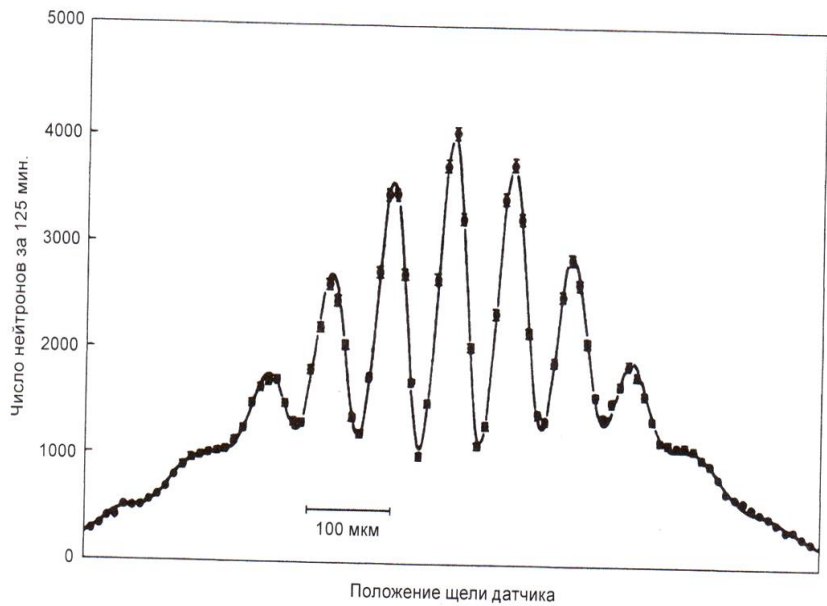
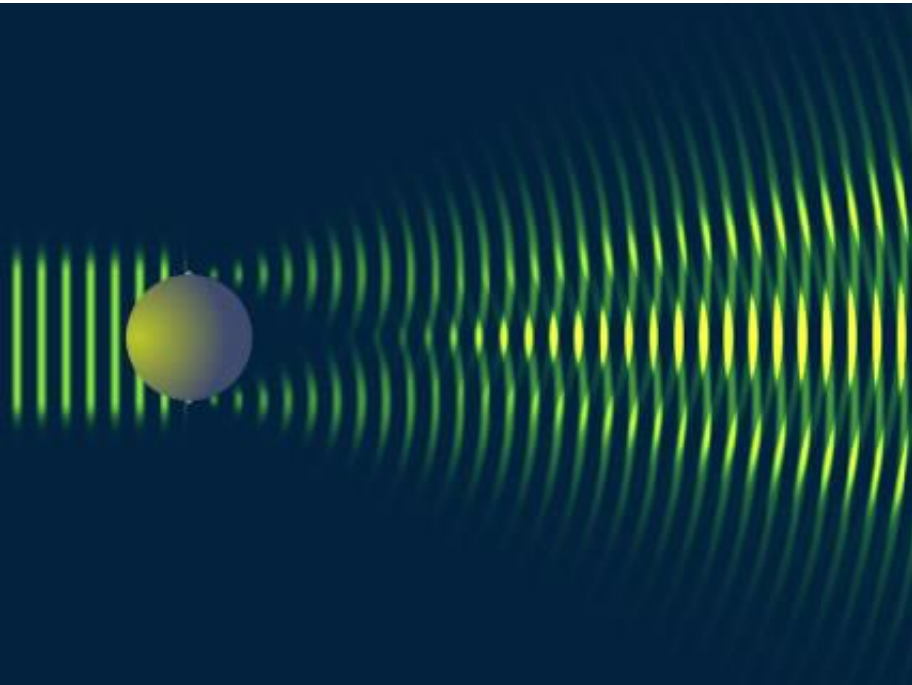
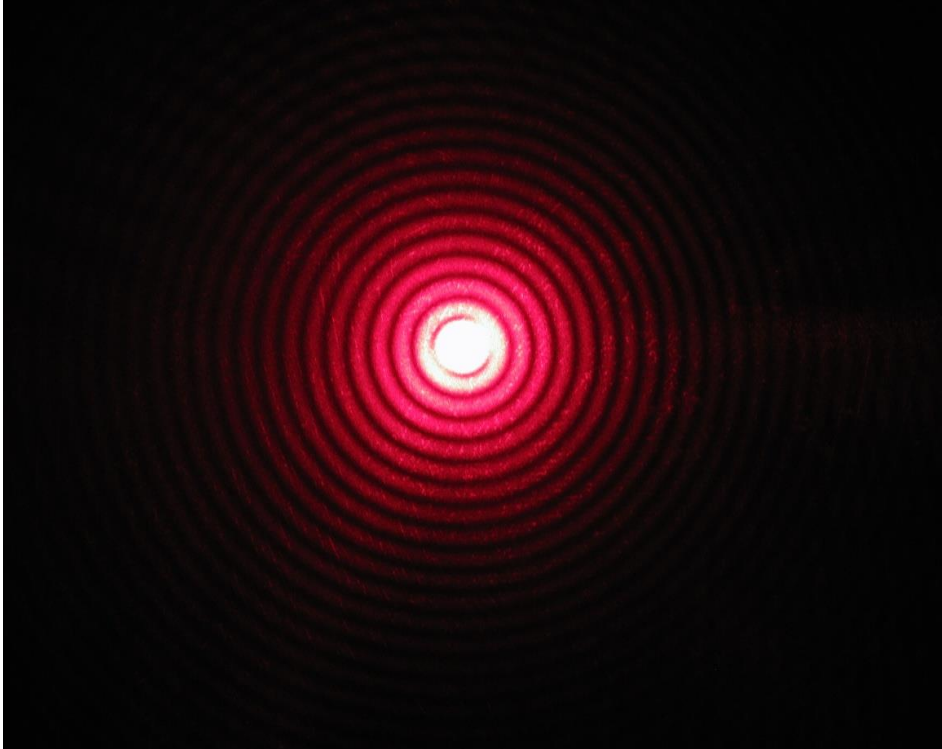
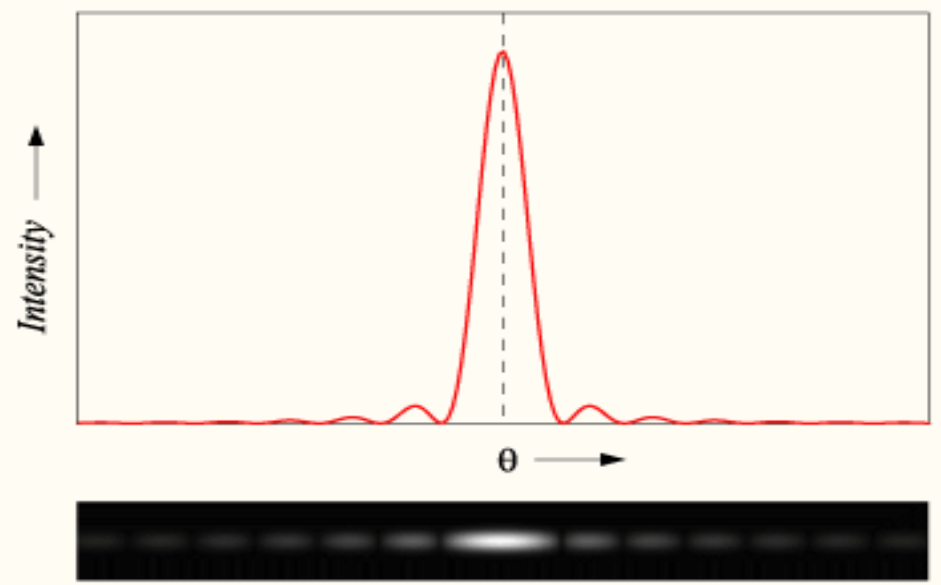
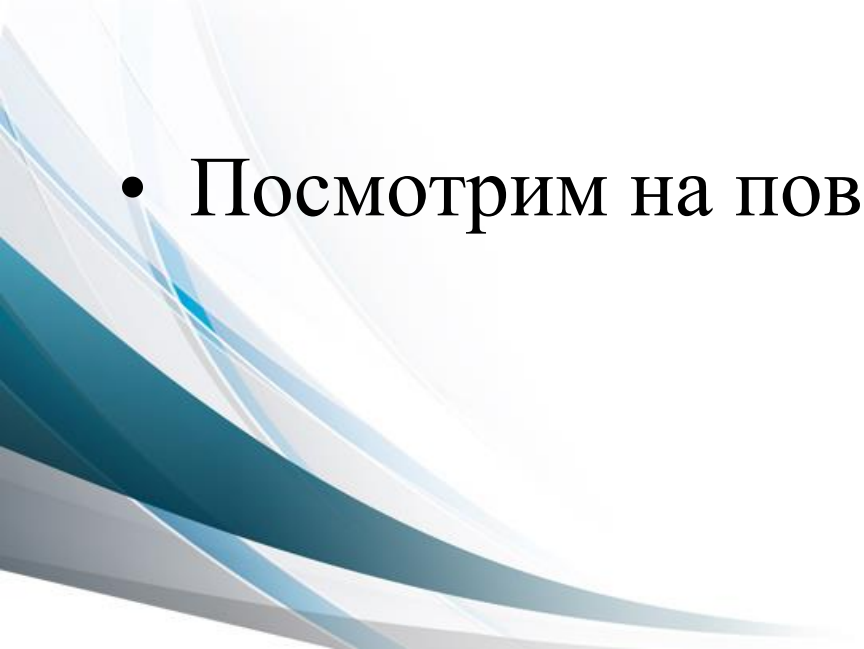


Рис. 1.5. Интерференция нейтронов. Интерференционная картина, полученная Гелер и Цайлинером, демонстрирует интерференцию нейтронов, Источник: Р. Гелер и А. Цайлинер, «Волновые эксперименты с ультрахолодными нейтронами», *Amer. J. Phys.*, v. 59, p. 316 (1991)



Single-slit diffraction pattern



- Интерферируют не только волны, поля и электроны, но и тяжелые частицы, состоящие из сотен атомов.
 - Теоретически можно пронаблюдать сложение и вычитание вирусов и пылинок!
 - Посмотрим на поведение фотона....
- 

Но эти состояния не являются собственными состояниями других операторов. Если нам нужно измерить не энергию, а, например, импульс электронов в нескольких атомах, то, исходя из принципа неопределенности, можно сказать, что каждое измерение энергии приводит к разному результату. То есть, как энергия электрона имеет определенное значение, этого нельзя сказать про его импульс. В рамках квантовой теории это можно объяснить, если заметить, что собственное состояние импульса — это плоская волна e^{ikx} , которой соответствует волновая функция основного состояния атома водорода. Но эта волна является суммой бесконечного ряда функций, каждой из которых соответствует свое значение k . Данная сумма, являясь фурье-разложением основного состояния, содержит бесконечное количество слагаемых, что соответствует тому факту, что измерение импульса может дать абсолютно любое значение.

Аналогично, эксперименты, призванные продемонстрировать, что свет состоит из фотонов, будут успешны только в том случае, если свет, который они изучают, состоит из точно определенного количества фотонов, например одного. Свет должен быть в собственном состоянии оператора количества фотонов. В недавней работе было показано, что источники света, используемые в ранних экспериментах, не обладали этим свойством. Свет был в квантовом состоянии, являющемся линейной суперпозицией большого числа собственных состояний оператора количества фотонов.

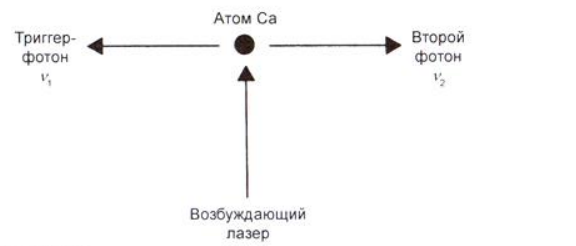
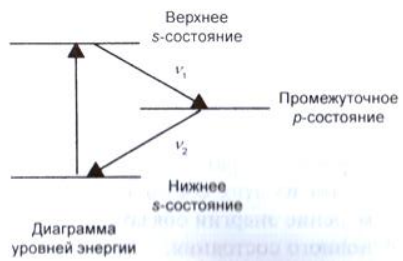


Рис. 2.4. Источник одиночных фотонов, использовавшийся в успешных экспериментах по антисовпадению Грэнджера и др.⁵ Атом калия под действием лазера переходил в возбужденное s -состояние. При релаксации он переходил сначала на промежуточный p -уровень, излучая первый фотон ν_1 , а затем на основной s -уровень с испусканием второго фотона ν_2 ; это тот фотон, с которым проводился эксперимент по антисовпадению



Единый фотон не может разделиться на два!

Таким образом, сложность с этими экспериментами заключается в характере использованных источников света. Антикореляция ожидается только в том случае, если свет находится в собственном состоянии оператора количества фотонов. Как же излучать такой свет? Это удалось сделать только недавно, сначала в важном эксперименте Клаузера в 1974 г., а наиболее элегантно в работе 1986 г. Грэнджера, Роджера и Асле.

Используя прецизионную молекулярно-лучевую технологию, авторы последней работы создавали себе сродни два атома калия и переводили их возбужденно-лучевым светом с помощью фотонной лазерной накачки. Свет, использованный в этом антикорреляционном эксперименте, возникал при релаксации этих атомов обратно в основное состояние. Как и в эксперименте Ханбери—Брауна и Твисса, миллионы фотонов рождались каждую секунду. Эти фотоны перемешаны с фотонами лазера и с обычным фоновым освещением. Как же из этого хаоса можно было получить однофотонное собственное состояние? Грэнджеру и его коллегам требовался способ для выделения единичных событий. Им требовался некий сигнал, появляющийся в момент релаксации атома в основное состояние.

Метод, приведший их к успеху, состоял в том, чтобы переводить атомы Ca в состояние, при релаксации из которого излучается два фотона вместо одного. Первый из этих фотонов был их меткой, а над вторым проводился антикорреляционный эксперимент.

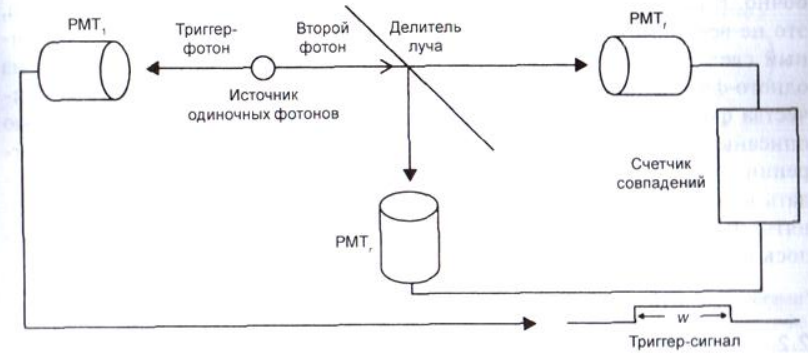


Рис. 2.5. Схема эксперимента по антисовпадению Асле с коллегами⁵. Попадание первого фотона, испущенного атомом и служившего в качестве триггера, в детектор PMT₁ дает сигнал двум другим детекторам PMT₂ и PMT₃ быть готовыми принять второй фотон в течение короткого промежутка времени w

Атом калиция после перехода в возбужденное s -состояние быстро возвращался к основному состоянию, проходя через промежуточное p -состояние. Таким образом, излучалось два фотона разной частоты за короткий промежуток времени (рис. 2.4). Первый из этих фотонов сразу улавливался

в детекторе D_y . Без BS_2 этот эксперимент в точности повторяет антикорреляционный эксперимент Грэнджера, Роджера и Аспе.

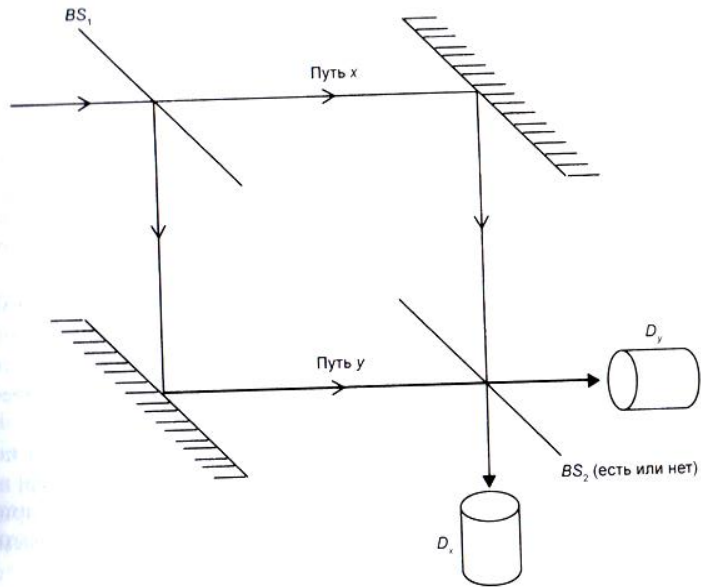


Рис. 2.8. Эксперимент с отложенным выбором. Второй делитель луча интерферометра Маха—Цендера может быть вставлен или удален *после того*, как фотон прошел через первый делитель луча, и «сделал свой выбор, вести себя как частица или волна». Согласно так называемой теории заговора, это должно «обмануть» свет и заставить его вести себя неправильным образом

Но при наличии BS_2 он становится интерференционным экспериментом, и безвозвратно теряем информацию о пути, по которому двигался свет. Интересно, а если бы мы могли узнать, по какому из двух путей прошел фотон, как бы изменился результат? Ответ на этот вопрос состояло в том, чтобы задерживать решение об установке второго делителя до тех пор, пока фотон не попадет в интерферометр. Таким образом, тип эксперимента не определен до самого последнего момента.

Согласно теории заговора, фотон уже выбрал один из путей делителя в последний момент, когда «был бы» свет. При этом, например, что в начале эксперимента BS_2 отсутствует. Теория заговора утверждает, что это заставит каждый из фотонов вести себя как частица и выбрать один из путей x или y . Более того, он будет вести себя так же и далее, после выхода из первого делителя. Поэтому установка BS_2 не изменит этого факта, и, даже, если BS_2 окажется установленным в тот момент, когда свет достигнет его, интерференция не должна наблюдаться. Обратное верно и для противо-

положной ситуации: если теория заговора верна, эксперимент с отложенным выбором в обоих случаях заставит свет вести себя ошибочно.

Отложенный выбор

Наша задача — выяснить, как это работает. В институте квантовой оптики имени Вальтера в Мюнхене, а также в Лангмуте, Вальтер, Зайонц и Шлейх⁷ успешно выполнили версию эксперимента, предложенного Вилером. Технически невозможно реально убрать полупрозрачное зеркало BS_2 за требуемый очень короткий промежуток времени. Однако, возможно сделать выбор в пользу одного из путей за время, меньшее времени прохождения света по интерферометру. Это было сделано с помощью электронной ячейки Поколя, которая поворачивает плоскость поляризации в течение 5 нс после приложения напряжения. Затем призма Глена отражает свет, если его поляризация была изменена и пропускает, если осталась неизменной. Таким образом, если на ячейку Поколя, установленную в плече x интерферометра, подано напряжение, свет может пройти по BS_2 только по одному пути y : интерференция в такой конфигурации невозможна. Наоборот, если напряжение отсутствует, зеркало эффективно отсутствует: свет поступает в BS_2 по обоим направлениям x и y и интерференция возможна.

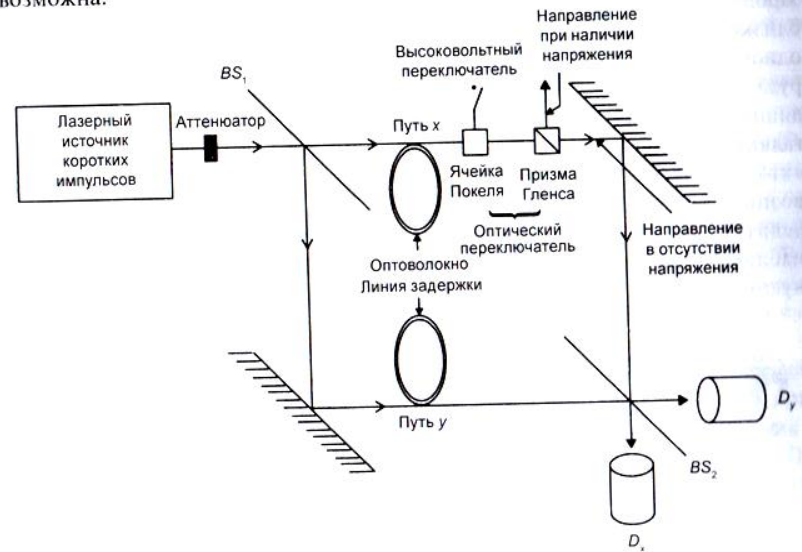


Рис. 2.9. Схема реального эксперимента с отсроченным выбором, использованная Вальтером с сотрудниками⁷

В эксперименте использовались линейно поляризованные короткие импульсы лазерного излучения, длительностью менее одной микросекунды, которые содержали в среднем по одному фотону. Импульс генерировался лазером с запирающей модой и точно контролировался по времени, что

Полноценный объект!

- Свет и его корпускулярно-волновые свойства стали предметом внимательнейшего изучения.
- Квантовая криптография и телепортация.
- Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена.
- Неравенства Белла.
- Все это было проверено на фотонах!

Эйнштейн-Подольский-Розен

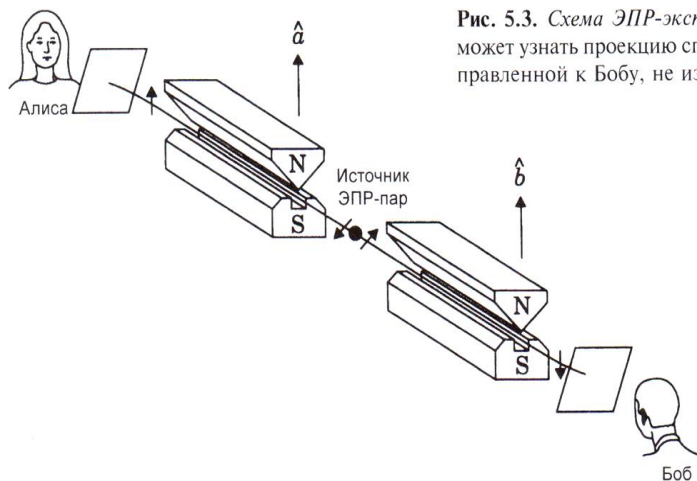


Рис. 5.3. Схема ЭПР-эксперимента. Алиса может узнать проекцию спина частицы, направленной к Бобу, не измеряя ее

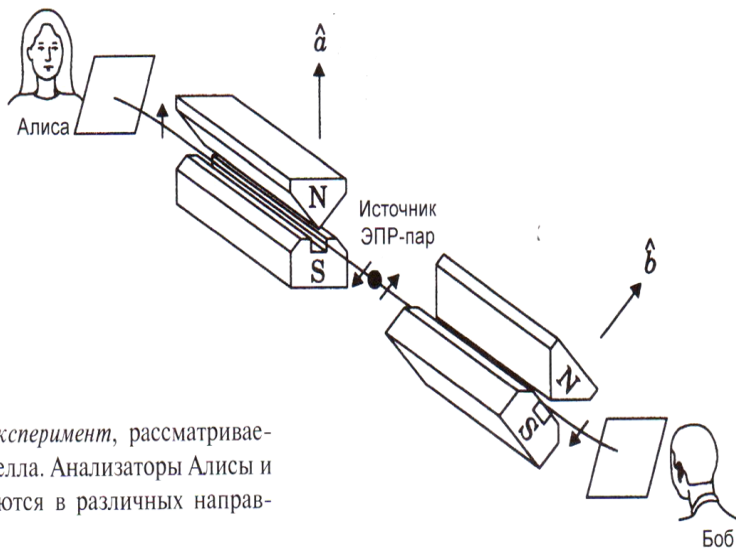


Рис. 5.4. ЭПР-эксперимент, рассматриваемый теоремой Белла. Анализаторы Алисы и Боба ориентируются в различных направлениях \hat{a} и \hat{b}

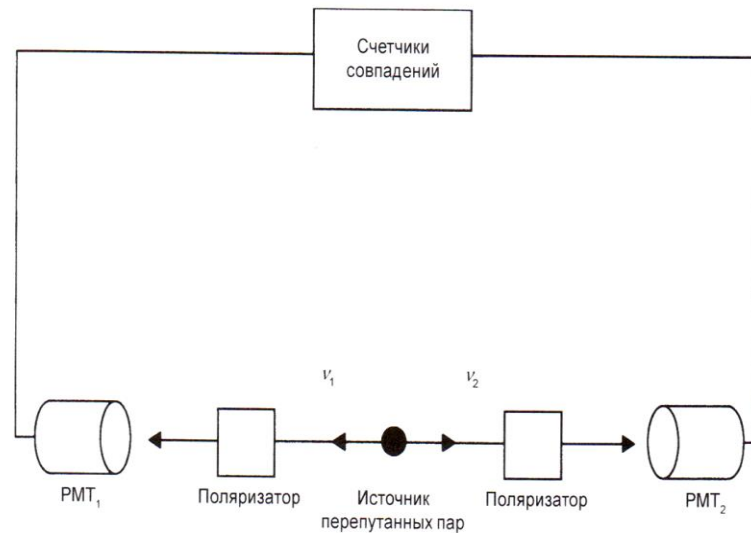


Рис. 6.4. Схема первого эксперимента Аспе по проверке неравенств Белла²

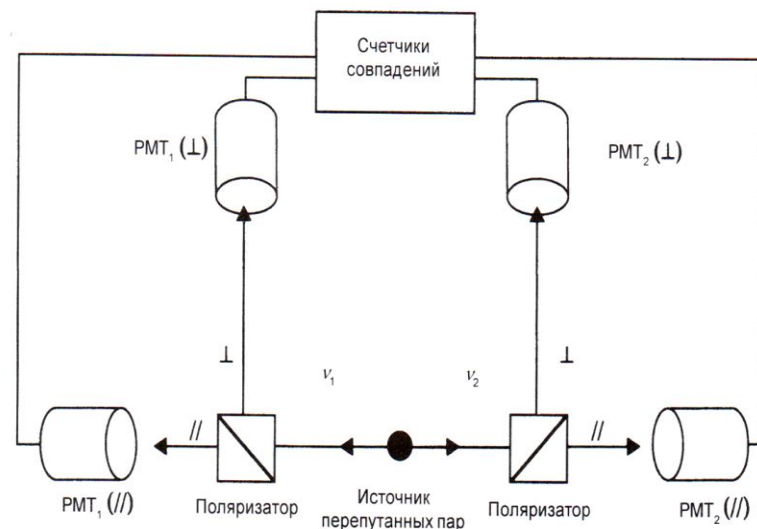


Рис. 6.5. Схема второго эксперимента Аспе по проверке неравенств Белла³

Аспе и Белл

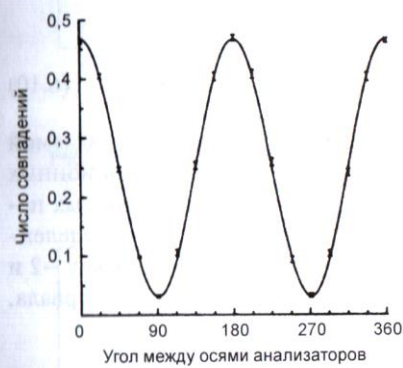


Рис. 6.7. Результаты первого эксперимента Аспе по проверке неравенств Белла. Кривая, проведенная через экспериментальные точки, соответствует предсказанию квантовой теории



Рис. 6.10. Результаты третьего эксперимента Аспе по проверке неравенств Белла. Как прежде, кривая, проведенная через экспериментальные точки, соответствует предсказанию квантовой теории

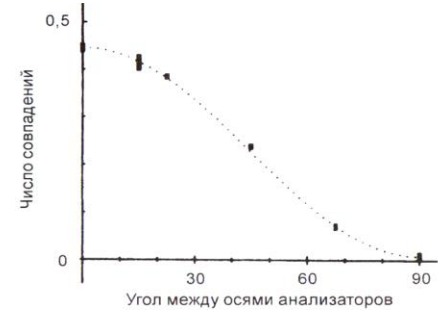


Рис. 6.8. Результаты второго эксперимента Аспе по проверке неравенств Белла. Кривая, проведенная через экспериментальные точки, соответствует предсказанию квантовой теории

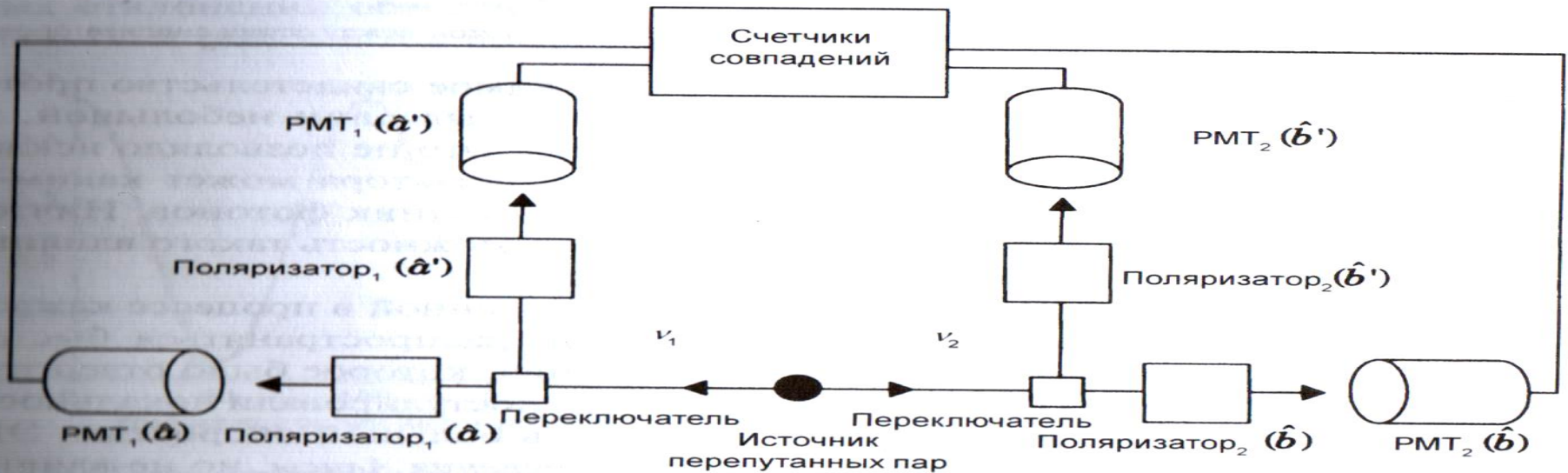


Рис. 6.9. Схема третьего эксперимента Аспе по проверке неравенств Белла⁴. Быстродействующие переключатели изменяют условия эксперимента за время, меньшее времени распространения любого взаимодействия между анализаторами

Локальных скрытых параметров нет!

- Дело не в том, что мы чего-то не знаем, а в том, что его объективно нет, а есть только результаты измерений.
- Предсказания сбываются, механизмы процессов туманны, точней отсутствуют.
- Глобальная нелокальность – незапрещенна!
- Запутанные квантовые состояния – объективная реальность!
- Математические чудеса, кстати, тоже...

Машина Мермина

5.4. Теорема Белла  1

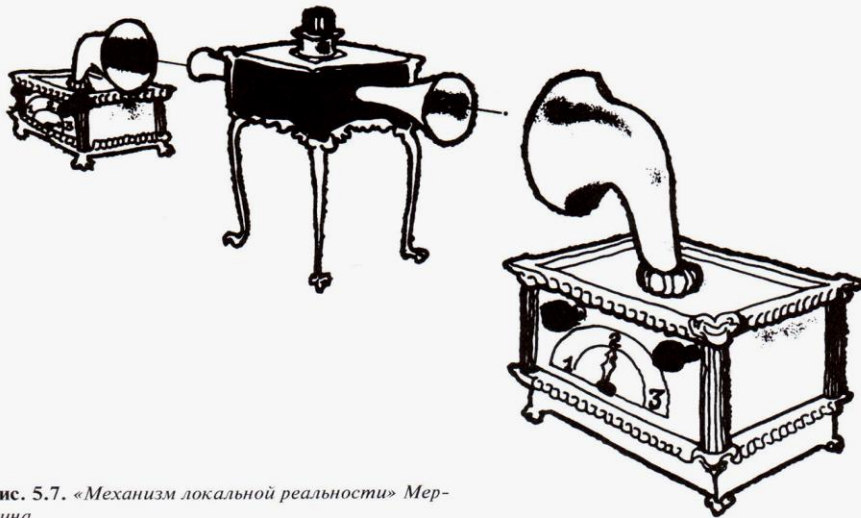


Рис. 5.7. «Механизм локальной реальности» Мермина

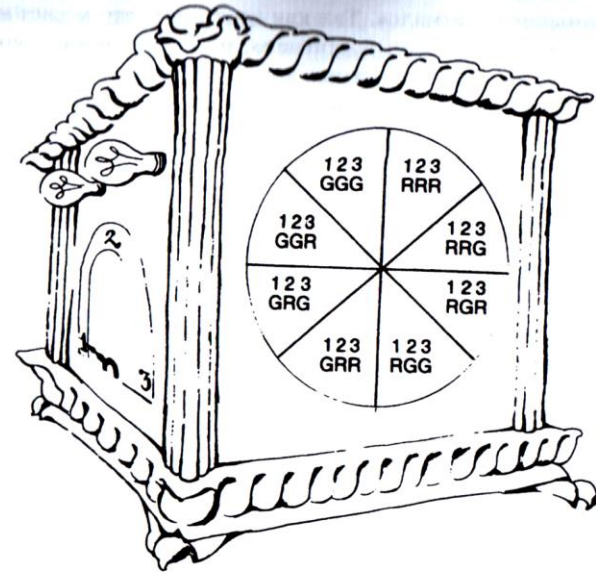


Рис. 5.8. Способ, который может работать. «Механизм локальной реальности» Мермина. Цвет вспыхнувшей лампы зависит от того, в какой сектор попадет сигнал и в какое положение установлены переключатели.

Таблица 5.3. Возможные результаты мысленного эксперимента Мермина

Положение переключателя на первом детекторе	Положение переключателя на втором детекторе	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1 1 1	1 2 3	Все красные	RR RR RG	RR RG RR	RR RG RG	То же как IV, при замене R на G и G на R	То же как III, при замене R на G и G на R	То же как II, при замене R на G и G на R	Все зеленые
2 2 2	1 2 3		RR RR RG	GR GG GR	GR GG GG				
3 3 3	1 2 3		RG RG GG	RR RG RR	GR GG GG				
Число случаев с одинаковым цветом лампочек		9	5	5	5	5	5	5	9

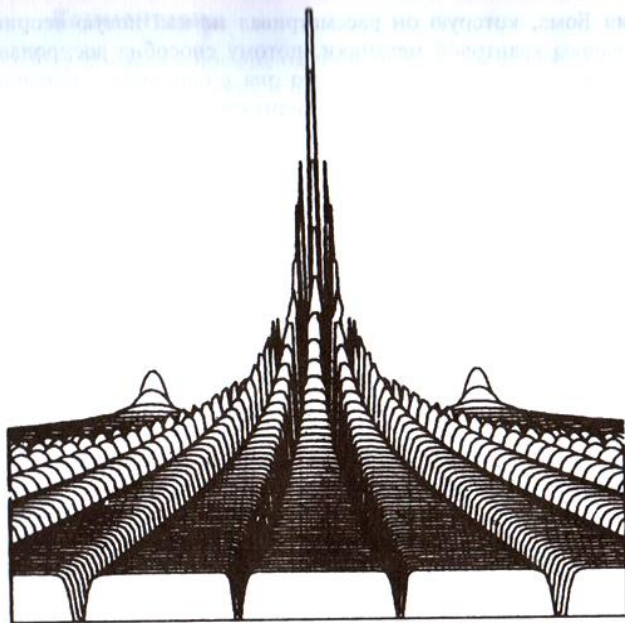


Рис. 6.11. Квантовый потенциал, описывающий интерференцию на двух щелях, в нелокальной теории скрытых параметров Бом

Что происходит, когда мы быстро закрываем одну щель? Волновая функция за щелью мгновенно изменяется, вызывая изменение квантового потенциала. Как следствие этого, частицы подвергаются действию измененной квантовой силы, что изменяет их траектории. Бом показывает, что такие нелокальные эффекты его теории не могут привести к нарушению ограничений специальной теории относительности. Тем не менее, нас призывают согласиться с тем, что обе щели влияют на движение каждой частицы, несмотря на то, что частица проходит только через одну щель.

Положение частицы и ее скорость в теории Бом — это те самые скрытые параметры, которые рассматриваются в теореме Белла. Но у этой теории нет разногласий с квантовой механикой в предсказании результатов измерений, так как она принципиально нелокальна. Нелокальность теории становится очевидной при рассмотрении волновой функции нескольких частиц

$$\psi = \psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3, \dots, t), \quad (6.14)$$

где \mathbf{r}_1 — координата частицы 1, \mathbf{r}_2 — координата частицы 2 и так далее. Частица 1 ускорится под действием силы

$$m \mathbf{a}_1 = \nabla_1 [V + Q], \quad (6.15)$$

зависящей от координат всех частиц через квантовый потенциал

$$Q = \frac{\hbar^2 (\nabla_1^2 + \nabla_2^2 + \dots) R}{2m R}. \quad (6.16)$$

Здесь ∇_1 — градиент, взятый по \mathbf{r}_1 ; ∇_2 — градиент, взятый по \mathbf{r}_2 ; и так далее. Мы видим, что Q зависит от координат всех частиц системы, так же как и сила, действующая на частицу 1: сила, действующая на лобную частицу, зависит от положений всех других частиц.

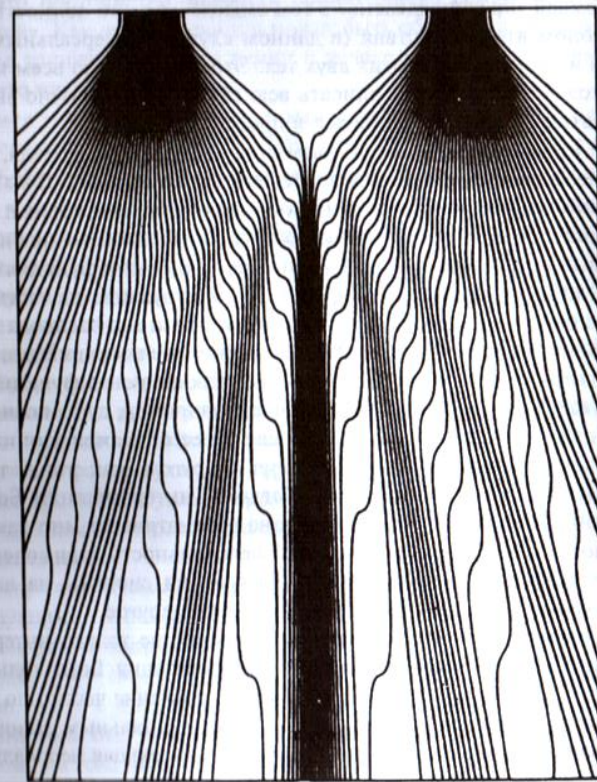


Рис. 6.12. Траектории движения частиц в квантовом потенциале нелокальной теории скрытых параметров Бом, описывающие эксперимент по интерференции на двух щелях

Подчеркнем, что это принципиально новое нелокальное взаимодействие между частицами, величина которого не уменьшается при удалении их друг от друга. Очевидно, что общая волновая функция должна уменьшаться с удалением от места наибольшей вероятности нахождения каждой из частиц.

Однофотонные эксперименты

188  Глава 6. Проверка неравенств Белла: перепутанные состояния

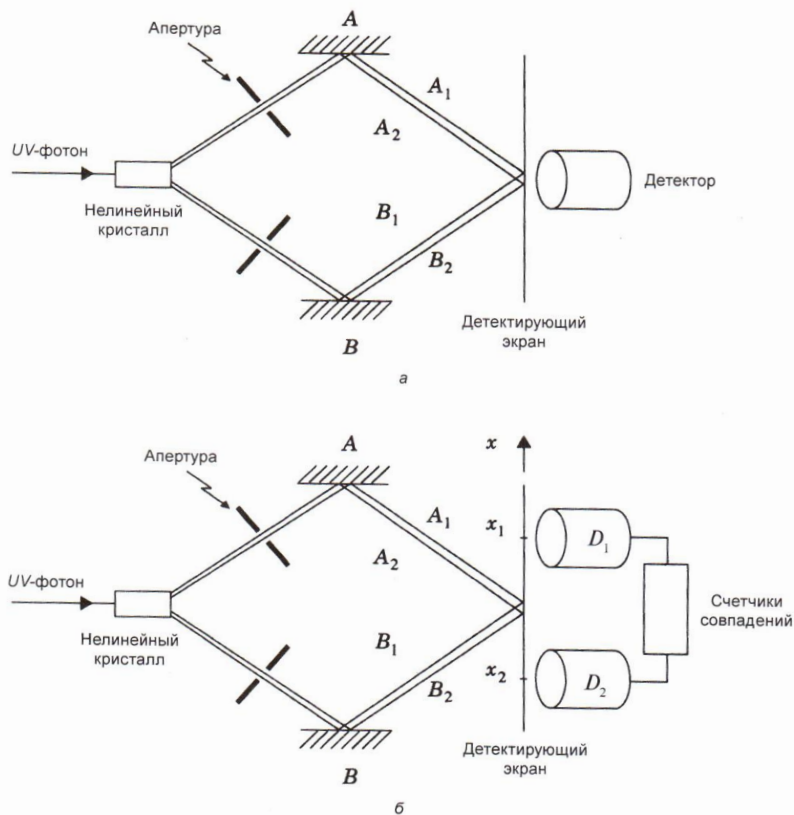


Рис. 6.13. Эксперименты Гохса и Менделя. Отдельный фотон, попадая в нелинейный кристалл, расщепляется в пару. Каждый член пары может попасть в маленькую, но конечную область детектирующего экрана. (а) Сканирование вдоль экрана единичного детектора и (б) пары детекторов, связанных со счетчиком совпадений

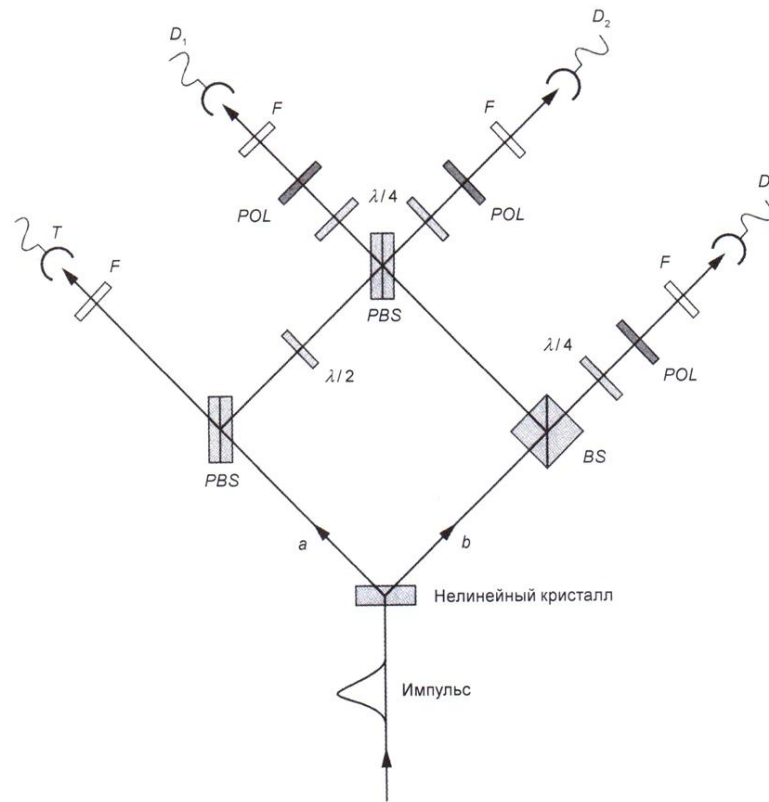


Рис. 6.14. Экспериментальная схема для ГХЦ-исследования проблемы нелокальности. Пары фотонов с перепутанной поляризацией (один фотон с H поляризацией и другой с V поляризацией) создаются коротким импульсом ультра-фиолетового излучения. Одним импульсом создается две пары фотонов, необходимых для наблюдения ГХЦ-корреляции. Два поляризующих делителя луча (PBS) пропускают фотоны с H поляризацией и изменяют направление движения фотонов с V поляризацией. Таким образом, фотон, движущийся в плече a и регистрируемый в T , всегда имеет H поляризацию, и его партнер в b должен иметь V поляризацию. Обозначим эти два фотона как «пара 1». Фотон, изменивший направление движения в PBS и всегда имеющий V поляризацию, переводится $\lambda/2$ пластиной в равновероятную суперпозицию V и H состояний, и его партнер в плече b должен иметь H поляризацию. Обозначим эти два фотона как «пара 2». Регистрируется одновременное срабатывание всех четырех датчиков. Фотон с поляризацией H из пары 1 в плече a вызывает срабатывание датчика T , а его партнер с поляризацией V в плече b может попасть в D_2 или D_3 . Все четыре датчика могут сработать одновременно, если фотон в плече a из второй пары будет иметь поляризацию V , а

Игра воображения...

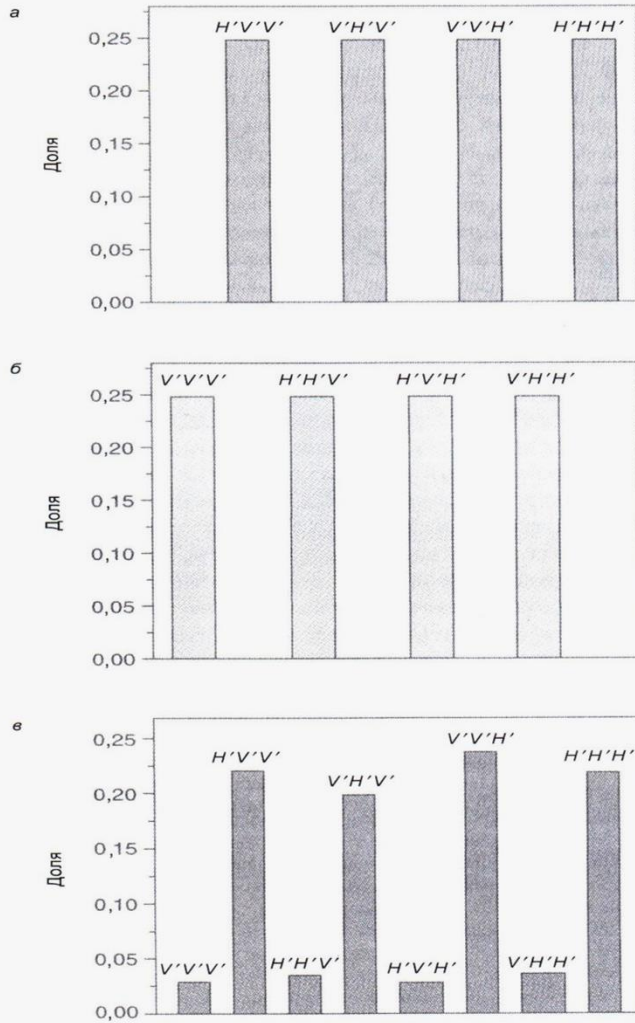


Рис. 6.15. Результаты ГХЦ-эксперимента. Результаты измерений $A_x B_x C_x$, предсказываемые квантовой механикой (а) и локальным реализмом (б), абсолютно противоположны. Экспериментальные результаты (в) соответствуют предсказаниям квантовой механики

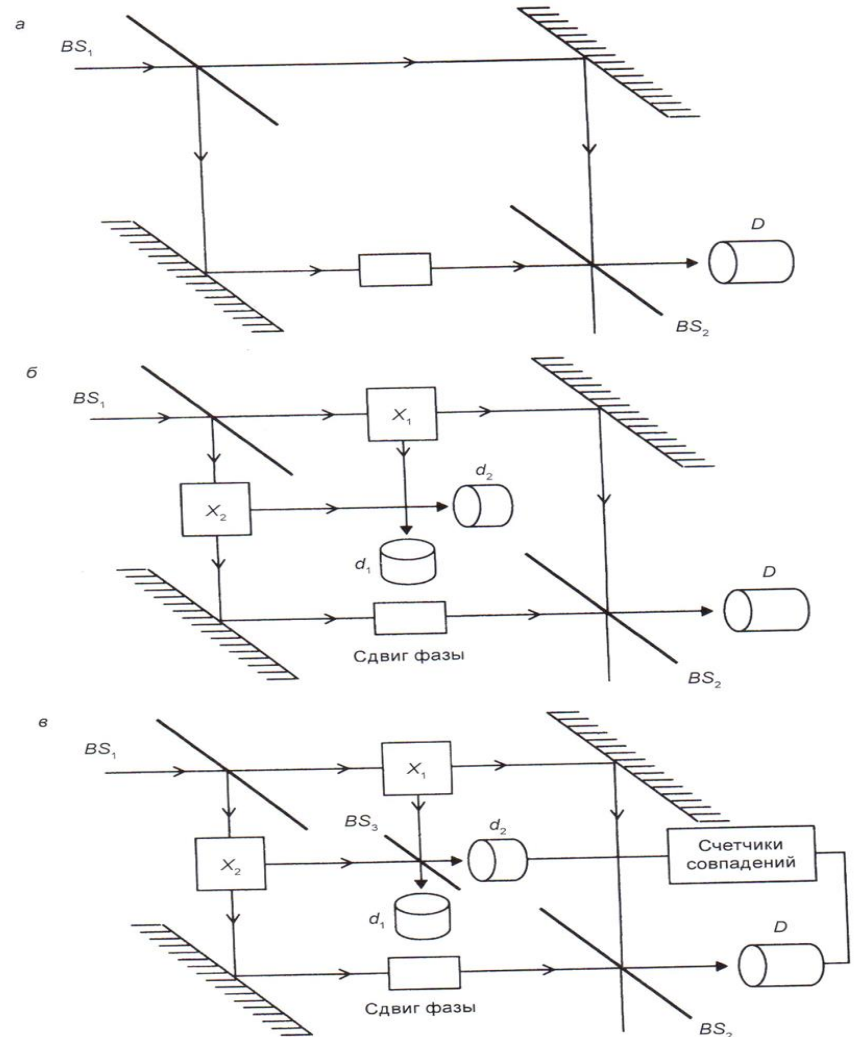


Рис. 8.13. Эксперимент с квантовым ластиком⁸. Вначале показан простой интерферометр Маха—Цендера (а). Затем в плечи интерферометра добавлены два нелинейных кристалла, на одном из выходов каждого из которых поставлены два дополнительных датчика, d_1 и d_2 , (б). Наконец, в (в) добавляется делитель луча BS_3 , который «стирает» информацию о траектории, которая в (б) была обеспечена кристаллами, и счетчик совпадений между D и d_2 демонстрирует интерференционную картину

Еще немного о влиянии наблюдателя

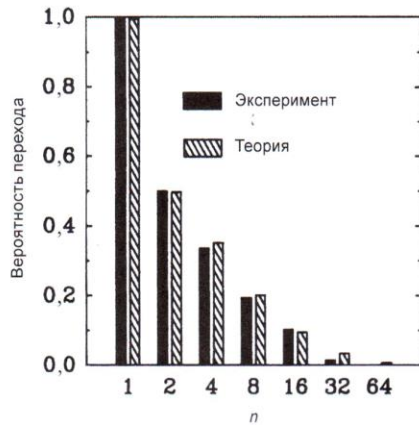
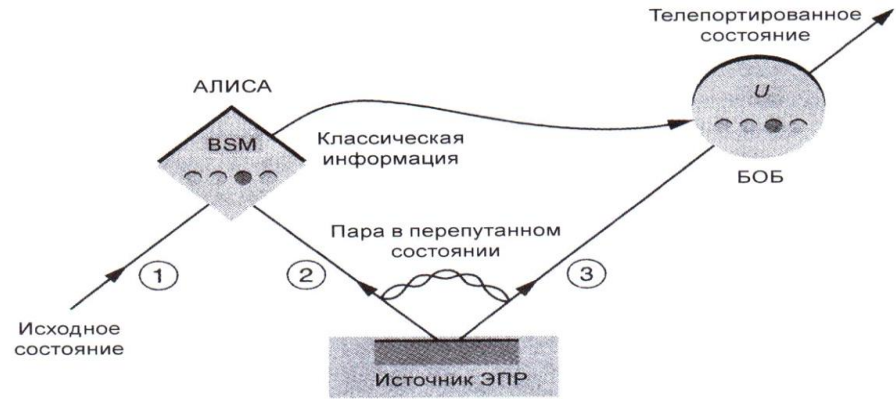


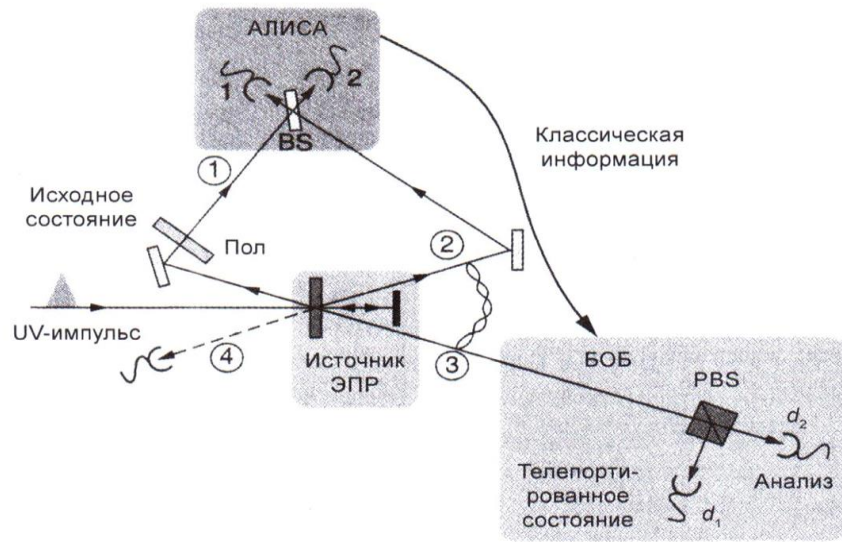
Рис. 8.11. Результаты экспериментального исследования квантового эффекта Зенона. Вероятность перехода в течение времени T_{ex} как функция числа промежуточных наблюдений n . Уменьшение вероятности перехода с ростом n есть квантовый эффект Зенона. Согласие между результатами наблюдений (черные столбцы) и теории (штрихованные столбцы) превосходное



1.6. Если из источника вылетают отдельные частицы, то пролетая через двойную щель они должны создавать интерференционную картину на втором детектирующем экране, как показали эксперименты, описанные в гл. 1. Но если из источника вылетают ЭПР-пары, общий импульс каждой из которых равен, например, нулю, и одна из частиц пары летит через одну из щелей, а вторая в противоположную сторону, то тогда, в соответствии с принципом дополнительности Бора, интерференционная картина наблюдаться не может, так как мы можем узнать, через какую щель пролетела первая частица, наблюдая за второй. Например, если вторая частица ЭПР-пары попала в точку «Верх» первого экрана, то первая частица пролетела через верхнюю щель, а если в точку «Низ», то через нижнюю



9.1. Квантовая телепортация неизвестного состояния от Алисы к Бобу. Алиса измеряет состояние Белла (BSM), определяющее отношения между неизвестным квантовым состоянием ее частицы и одного из членов ЭПР-пары. Затем она использует классический канал, чтобы передать результат измерения Бобу. Это дает Бобу достаточно информации, чтобы превратить свой член ЭПР-пары в точную копию начального состояния, используя одно из четырех унитарных преобразований U



9.2. Экспериментальная реализация квантовой телепортации, осуществленная Инсбрукской группой

Я знаю, что ничего не знаю, но все могу предсказать и вычислить!

- Классический взгляд – пока не померили ничего нет и нечего об этом говорить.
- Модная тенденция – процессы происходящие с квантовыми объектами, а значит и все остальные, – демонстрируют глобальную нелокальность нашего мира и взаимосвязь всего со всем как в пространстве, так и во времени...



Примеры из жизни

Диалог двух влюбленных после отдыха на «Острове свободы, любви и возмужания» (в СОЛ «Волга»)

- Как ты думаешь, милый, то, что с нами произошло это действительно любовь или мы просто играем в пинг-понг?
- Да, дорогая. Но истинный ответ на этот вопрос мы узнаем только тогда, когда у нас появятся внуки...

СТИХИ.

Предчувствіе.

Скончалась ночь. Въ туманѣ синемъ
Забрежжилъ синій призракъ дня,—
Но мы прекрасной не покинемъ
Въ дыму лазурнаго огня.

Пусть вспыхнетъ полдень неизбѣжный
Костромъ обманчивымъ своимъ,
Мерцающе звѣздъ и сумракъ нѣжный
Мы въ безднахъ сердца затаимъ.

Для насъ, постигшихъ скорбь заката
И тайну хмурую небесъ,
Завѣса вѣчности подъята
Надъ міромъ призрачныхъ завѣсъ

Сквозь эту дымную преграду
Дано предчувствію пройти
И воспріять въ себя прохладу
И нѣгу млечнаго пути.

К. Львовъ



Ф. Тютчевъ

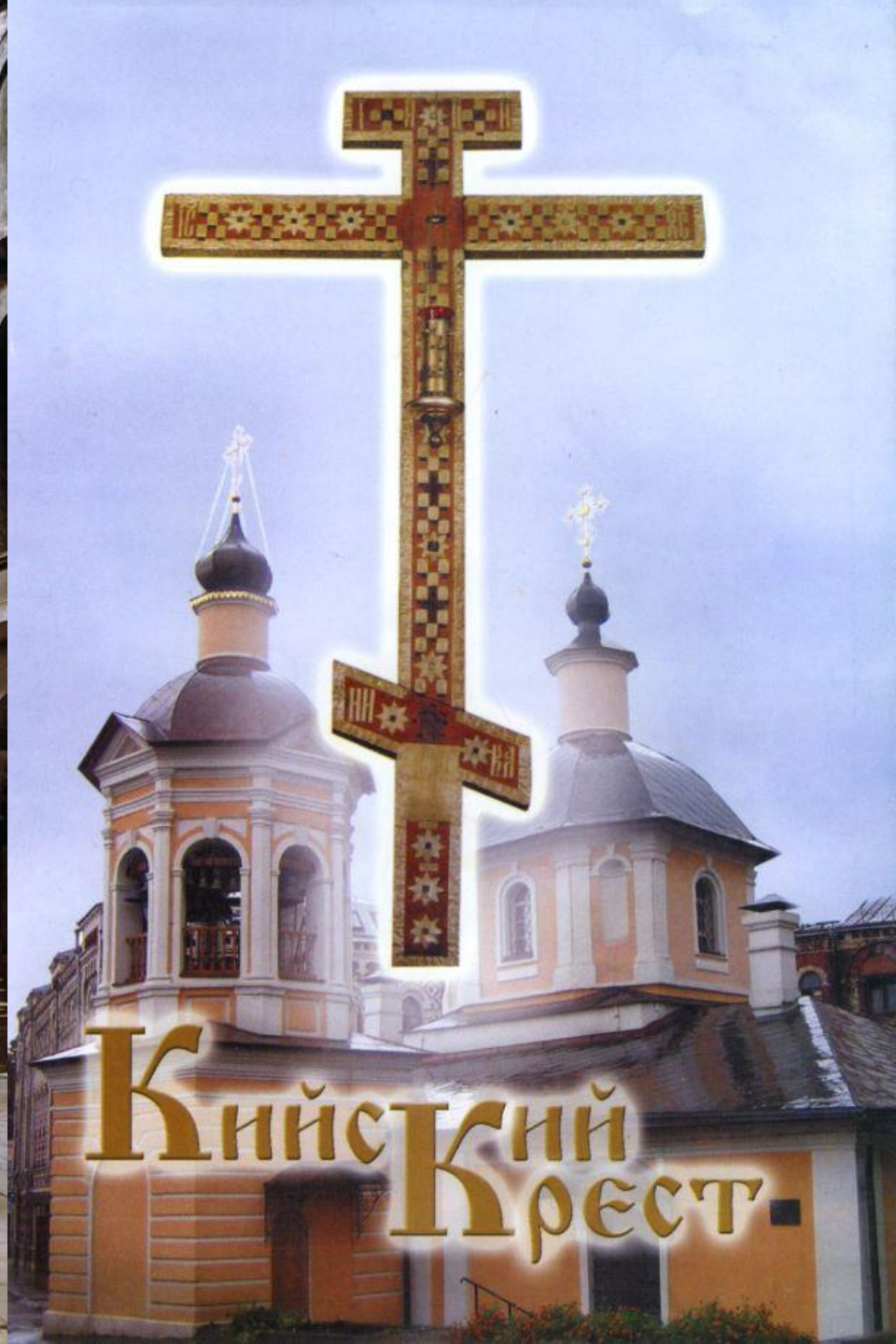


SILENTIUM!

Молчи, скрывайся и таи
И чувства и мечты свои —
Пускай в душевной глубине
Встают и заходят оне
Безмолвно, как звезды в ночи,
Любуйся ими — и молчи.
Как сердцу высказать себя?
Другому как понять тебя?
Поймет ли он, чем ты живешь?
Мысль изреченная есть ложь.
Взрывая, возмутишь ключи, —
Питайся ими — и молчи.
Лишь жить в себе самом умей -
Есть целый мир в душе твоей
Таинственно-волшебных дум;
Их оглушит наружный шум,
Дневные разгонят лучи, —
Внимай их пенью — и молчи!..

Книга Жизни

- С точки зрения современной науки невозможно объяснить почему я икаю, когда меня вспоминают... Эти вещи не могут быть причинно обусловлены.
- Но вполне реалистичной выглядит картина в которой моя икота синхронизируется с чьим-то воспоминанием обо мне, в ходе нашего совместного развития и существования.
- Причинная связь невозможна, а корреляционная разрешена, как для запутанных квантовых состояний...



Книжечный
Крест

Квантовая вездесущность

- Глобальная нелокальность приводит не только к математическим трудностям, но и создает определенные мировоззренческие проблемы. Получается, что электроны, фотоны, да и все прочие волны и частицы, будучи простыми и не обремененными памятью и способностью предвидения объектами, ведут себя так, как будто кто-то, находящийся вне пространства и времени, за ними и нами наблюдает и управляет их поведением, подсказывая какие свойства им надо проявлять и что демонстрировать...



Квантовый мир оставляет
место для творчества и
свободы воли как человеку,
так и Творцу!

Решетов Владимир Николаевич
nreshetov@yandex.ru