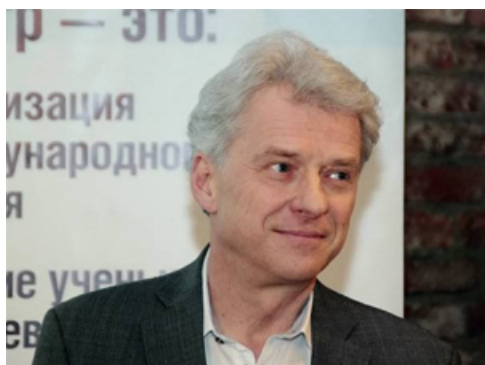


Телепортация, или что можно, а что нельзя в квантовом мире

Мы публикуем текст и видеозапись лекции профессора Института Нильса Бора, директора Датского центра квантовой оптики, академика Королевской академии наук Дании, председателя исполнительного комитета Российского квантового центра Юджина Ползика, прочитанной 21 марта 2013 года в клубе ZaVtra в рамках проекта «Публичные лекции Полит.ру».



Ученый рассказал о том, в каком смысле возможна телепортация, какие условия для нее нужны, почему исходный объект окажется уничтожен, а квантовые состояния с помощью потока классической информации удастся передать только очень грубо, а также о том, за что в 2012 году дали Нобелевскую премию по физике.

Текст лекции

Большое спасибо! Очень приятно здесь находиться и видеть столько людей, которых интересует эта провокационная тема. Я надеюсь, что вы не разочаруетесь. По поводу вопросов - можно

сделать так: если вы хотите задать вопрос, то я его могу повторить в микрофон, а потом дать ответ. Телепортация - или что можно, а что нельзя в квантовом мире. Я знал, что аудитория самого разного уровня, мне сказали, что есть люди, которые просто интересуются наукой вообще, а есть люди со специальным образованием. Мы будем рассчитывать на такой самый широкий способ понимания, ну и где-нибудь, может быть, я скажу такие слова, как «некоммутирующие операторы», и тогда, может быть, кто-нибудь это оценит, а остальные могут пропустить. Ну вот давайте посмотрим на такую картинку. Этот молодой человек – это Вернер Гейзенберг в 1927 году, он был частым гостем Нильса Бора в институте имени которого я имею честь работать. Утверждается, что именно в институте Нильса Бора Гейзенберг пришел к выводам о своем принципе неопределенности. Как все было? Я не знаю, как все было у него в голове, но физика развивалась со времен Птолемея и прочих очень хорошо. Мы развивались, все больше и больше узнавали об окружающем нас мире, казалось, что так будет продолжаться до бесконечности – и, наконец, мы узнаем все и на этом успокоимся. Оказалось, что невозможно узнать все. Выяснилось это примерно лет 80-90 назад, когда Гейзенберг, Бор, Шредингер и многие другие замечательные люди вывели законы квантовой механики - она тогда называлась механикой, но можно сказать, что квантовой физики. По этим законам получилось, что в принципе невозможно измерить все то, что вокруг нас происходит. И не потому, что мы плохие инженеры, или у нас приборы неточные. А просто нельзя.

Иногда мне задают вопрос: что значит «нельзя»? Ответ на этот вопрос такой: по той картине мира, которая у нас сейчас есть, по тем законам, которые нам известны, и до сих пор мы не нашли их нарушения, нельзя. Вот такой ответ. Пример: берем частицу, электрон в атоме. Может быть, те из вас, кто изучал физику, они видели модель атома Бора, там электрончики по орбитам гуляют, прямо как планеты вокруг Солнца в солнечной системе. Оказалось, что это грубая ложь. Позицию, положение, координату, и скорость, или как в физике называют, импульс частицы, невозможно одновременно измерить. Опять же, для тех, кто когда-то изучал физику в университете, нарисован коммутатор двух операторов. Это оператор, который соответствует позиции, это который соответствует моменту. Они не коммутируют, значит, их нельзя одновременно померить с неограниченной точностью. Вот, эта самая картинка, где электроны вращаются вокруг ядра, и вдруг получается, что произведение точности, с которой мы можем знать координату электрона, на точность, с которой мы можем знать его скорость, - это вещь, которая ограничена снизу, она всегда больше, чем что-то. Это что-то принесло Макс Планку Нобелевскую премию. Это называется постоянной Планка. Это очень маленькая величина. Для людей, которые помнят математику, это 10^{-34} в минус 34 степени джоулей на секунду. Тем не менее, эта величина конечна.

В некотором смысле, в конечности постоянной Планка и заключается одно из оснований квантовой механики. Потому что, если бы это был ноль, тогда произведение двух величин больше нуля. Ну, подумаешь, значит, обе из них положительны. Каждая из них может быть сделана сколь угодно малой. А тут получается, что если эта страшно маленькая, значит, эта должна быть большая. Если мы хорошо знаем, где частица находится, значит, мы совсем не знаем, какая ее скорость, и наоборот. Это первое утверждение о том, что можно, а что нельзя. Я хочу показать пример, который, я надеюсь, вам проиллюстрирует то, что я сказал, - что невозможно определить с неограниченной точностью положение и скорость частиц. Давайте попробуем сделать такой эксперимент. Этот эксперимент называется гейзенберговский микроскоп. У нас есть частица, на нее налетает фотон. Зачем он на нее налетает? Мы же хотим определить положение частицы, для этого на нее надо посмотреть. Что значит «посмотреть»? Когда я на вас смотрю, это значит, на вас отражается свет, который отошел из этого источника, и я его вижу. Для того чтобы мне вас увидеть, нужно, чтобы вы на меня отразили, рассеяли какие-то частицы света, которые называются фотонами. Можно и другим способом мерить, но результат будет один и тот же.

Представим себе, что это фотон. Он радостно налетает на эту частицу, от нее рассеивается, и мудрец на нее смотрит. Смотрим, что происходит. Фотон прилетел и рассеялся прямо в телескоп нашему мудрецу. И мудрец считает, что эта частица находится там, откуда прилетел фотон. Но фотон - это в каком-то смысле частица, он эту ни в чем не повинную частицу стукнул. Получилось, как с бильярдными шарами. Этот фотон прилетел сюда, эта частица улетела. Если мы даже и знаем, где она была до того, как мы ее увидели, то ее уже там нет, она улетела. Это утверждение правильное, но доказательство я вам привел совершенно лживое. Я сейчас немного на следующую ступень доказательства перейду, опять это чуть-чуть требует образования. Давайте посмотрим на это. Для того чтобы частицу увидеть, нужно этот фотон на нее сфокусировать. Для тех, кто немножко помнит о волнах, фотон - это одновременно частица и волна. Если вы волну очень сильно фокусируете, она после этого очень быстро расходится в разные стороны. Поэтому, если вы ее сфокусировали на размер частицы, то она потом разойдется на разные стороны, и вы в принципе не увидите, откуда она пришла. Эти два объяснения - это 80 лет назад большие умы сначала привели первое объяснение, потом другие большие умы сказали, что это никуда не годится, потом третьи большие умы это все разработали. Получается, что у частицы по ее волновым свойствам есть некая неопределенность направления, и тогда у этой частицы будет неопределенность направления. Я попытался вам показать, что невозможно определить одновременно положение частицы и ее скорость, это запрещено.

Какое это имеет отношение к телепортации, будем надеяться, что будет ясно через короткое время. Пока что я скажу, что я не могу в точности померить положение и скорость любого электрона. Во мне этих электронов много, и в каждом из вас - тоже. Если я хочу, скажем, телепортировать вас куда-то, то один способ - это просто взять вас и измерить досконально. Все про вас выяснить, всякого электрона позицию померить, вопрос технический, но, наверное, можно создать такую установку. Из этого примера следует, что даже не понять, где один электрон находится. А как же разобраться со всеми, что сидят в вас? Поэтому получается, что телепортация - это не такой простой трюк. Здесь я привожу численные примеры. Представьте себе, что эта частица локализована до размера 1 микрон. Это одна тысячная миллиметра, одна миллионная метра, довольно маленькая вещь. Но если вы помните, есть микрометры, которые могут эти микроны мерить. Пусть

эта частица весит 1 миллиграмм. Легкая частица, но под микроскопом ее увидеть нет проблем. Оказывается, что неопределенность ее скорости будет совершенно незаметная. Одна биллионная, биллионная часть метра в секунду. То есть для частицы такого размера чаще всего эта квантовая неопределенность не очень-то важна, но вообще говоря, это как посмотреть, потому что в наше время измеряют такие скорости, а еще и поменьше измеряют. Но если мы теперь возьмем одиночный атом, и вот этот одиночный атом, который весит совсем чуть-чуть, и мы его локализуем в одном микроне, вот у него уже будет неопределенность скорости миллиметр в секунду, это значит, что через малую долю секунды уже неизвестно, где он там был.

То есть как бы мораль в том, что с маленькими предметами проще наблюдать квантовые эффекты, но и с большими предметами можно наблюдать квантовые эффекты, если тщательно посмотреть. А как вы, наверное, все знаете не хуже меня, технологии, техника развивается безумно, здесь получается в каком-то смысле круг. Физика развивается, на основе этой физики изобретают полупроводники, с их помощью делают компьютеры, детекторы и прочие замечательные ящики, с помощью которых можно измерять точнее и точнее. Чем точнее измеряем, тем дальше продвигаем физику. То есть получается, что физика и техника как бы друг друга питают. И точности измерений, которые были немыслимы не так давно, теперь уже вполне мыслимы. И, может быть, поэтому вся эта замечательная квантовая телепортация возникла не сто лет назад, а, скажем, всего 15 лет назад.

Что из этого следует? Как я вам уже сказал, если мы посмотрим на этот электрон как на классическую частицу, вот они все тут в атоме Бора летают, Бор постановил следующее. Из классической физики следовало, что электрон, вращающийся вокруг ядра, – это нестабильная ситуация, то есть мы не можем существовать по классической физике, потому что все наши электроны должны упасть на ядра, и мы станем очень маленькими. А Бор постановил, что мы возьмем и постулируем, что есть такие квантовые орбиты. Но после этого люди, которые изобрели настоящую квантовую механику, поняли, что нет такого понятия, как орбита, а есть некое облако вероятности, то есть где-то там этот электрон есть, а где – не знаем. Можно померить попробовать, но тогда получится тот примерно результат, который я вам только что описывал, то есть вы этот электрон померите, но это будет уже совсем не тот электрон, может быть, он уже из этого атома улетит. Если тщательно начать мерить все электроны в нашем теле, то мы помрем. Если невозможно в точности определить все параметры даже одного атома, значит, невозможно их записать в качестве классической информации, а последовательность нулей и единиц – это именно тот способ передачи информации, который сейчас происходит в этом зале. Мой светлый образ преобразуется в последовательность нулей и единиц, посылается по кабелям, в другом месте эта последовательность нулей и единиц превращается во что-то похожее на меня. Вопрос в том, что если мы хотим не просто видеть грубую картину этой физиономии, а увидеть в точности, чтобы каждый электрон разрешить, этого нельзя. Как только что я сказал, квантовая физика это запрещает, поэтому квантовые состояния невозможно передать с помощью потока классической информации, то есть можно, но получится очень грубо. И вот мы приехали к первой остановке, из которой следует, что передача всех деталей объекта, будь это атом, вы, или бактерия, невозможно. Получится очень приблизительно. Дальше будет еще веселее.

Во-первых, это хорошие новости, что я вам сказал, потому что если невозможно в точности предсказать положение каждой частицы, значит, невозможно предсказать будущее, даже в принципе, лично мне это импонирует: приятно, что никто никогда ни в каком смысле, пока наша квантовая механика подтверждается всем нашим опытом, не может предсказать будущее. Если мы даже не знаем, где этот электрон находится, как можно предсказать все траектории в будущем? Была когда-то теория философского детерминизма, если спросить человека думающего 200 лет назад и 100 лет назад, он скажет: «Ну, а что? Все траектории есть, все частички». В принципе, если бы у него тогда был сверхмощный классический компьютер, он бы сказал, что все может рассчитать. Вот молекулы воздуха вокруг меня летают, я их так мгновенно сфотографирую, и мне супермощный компьютер тут же рассчитает, где они будут через секунду или через 100 лет. Сложная система, но в принципе предсказуемая. Квантовая физика говорит, что нет, в принципе не предсказуемая. Отсюда возникают прелести теории многих миров, но мы сейчас не будем в это вдаваться.

Что еще нельзя? Вот овечка, которую клонировали некоторое время назад. Взяли овечку, взяли ее ДНК, как они это сделали – понятия не имею, но ДНК – это последовательность этих оснований. Это уж точно можно записать в виде нулей и единиц. Геном прочтен, даже человеческий, пошел в интернет - и прочитал, как он выглядит. Поэтому биологическое клонирование – это вопрос нехитрый для меня, который в этом ничего не понимает. Но фокус в том, что клонирование на квантовом уровне невозможно по той же самой причине, что мы не можем в точности определить положение, координату каждой квантовой частицы, невозможно и клонирование. Если я хочу сделать квантовую копию, я обязан уничтожить оригинал. Опять же вопрос, что значит «обязан»? Закон такой - не как в обществе, когда можно выполнять, а можно нет. Здесь нельзя не выполнять, если вы планируете эксперимент или какой-то опыт, в котором вы собираетесь клонировать

квантовую систему, и вам кажется, что это получится, не тратьте время, не получится. То есть, квантовое клонирование невозможно. Как в «Мастере и Маргарите»: на что у вас ни посмотришь, все нельзя. Тут я впервые вбрасываю это слово, которое изобретено было Шредингером по-немецки, оно давно существует по-английски, а наши русские коллеги перевели его некоторое время назад, и это звучит как «перепутанные состояния». Но на английском языке оно имеет такую коннотацию, допустим, «я могу быть связан с любимой женщиной», то есть не просто перепутанный, как клубок шерсти, а в том смысле, что две системы очень сильно скоррелированы



1935 год, квантовая механика практически закончена. Все радостно почивают на лаврах Нобелевских премий. И тут Эйнштейн, Подольский и Розен пишут статью, которая называется «Может ли квантовая механика быть признана полноценной теорией?». Почему у них возник такой вопрос? Я легко нашел фотографию Эйнштейна, Розена тоже легко обнаружил – он, кстати, жил до 95 года, с ним можно было поговорить. А Подольский – это не он, но интересно, что Подольского фотографий нет, и после его смерти вдруг выяснилось, что он, может быть, вообще был разведчиком. Но эта деятельность никакого отношения к разведке не имеет. В чем проблема? Давайте возьмем две частицы. Для простоты, пусть это будут два осколка разорвавшейся гранаты, они летят. Вы, наверное, можете себе представить, что когда эти 2 осколка летят, у них одинаковые массы, скорости, и совершенно спокойно можно рассчитать их расстояние и скорость. Но в квантовой-то механике нельзя одновременно положение и скорость определить. Но если вы примените квантовую механику к относительному расстоянию между ними и к сумме их скоростей, это для физиков записывается как коммутатор расстояния между ними и суммы их скоростей, то эти две величины квантовая механика позволяет измерить с неограниченной точностью. Что получается, и что вывело Эйнштейна из себя, можно понять.

Представьте себе, что эти две частицы разлетелись. Вы сидите на Альфа Центавра, я сижу тут. Вы получаете одну частицу, я получаю другую. Я, сидя здесь, могу выбрать: хочу - померю координату этой частицы. Если я померю координату этой частицы, то я точно буду знать координаты вашей частицы. А если я вдруг решу померить импульс этой частицы, то я точно буду знать импульс вашей частицы. На языке квантовой механики это означает, что я своей свободной волей здесь могу выбрать то, что произойдет на Альфа Центавра. Но этого Эйнштейн не мог допустить, потому что он недавно доказал, что ничего не распространяется быстрее скорости света. А тут вроде как что-то распространяется. Что? Эйнштейн назвал это невероятным воздействием на расстоянии. Позже выяснилось, когда пыль осела, что не нарушает этот мысленный эксперимент никакой теории относительности, он просто означает, что эти облака вероятностей, эти волновые функции могут иметь абсолютно любой размер, хоть отсюда до Альфа Центавра. И это первый пример так называемых перепутанных состояний двух частиц, то есть состояния, которые скоррелированы лучше, чем стандартные состояния в квантовой механике могут быть скоррелированы. Частицы в атомах, из которых мы все состоим, - у них кроме позиции и скорости, есть еще магнитные моменты. Для того чтобы в точности описать атом, нужно знать положение и скорость электронов, но также нужно знать, как направлены эти магнитики. Эти магнитики ведут себя совершенно безобразным образом, который невозможно представить себе и понять в жизни.

Кто-то говорил, по-моему, Фейнман, что если вам кажется, что вы понимаете квантовую механику, значит, вы ничего не понимаете. Я здесь вот такой вот магнитик, который олицетворяет собой электрончик, я представляю его здесь как датскую 20-крановую монетку. Монетку можно кинуть, и она вам даст или орел или решку. В 239 школе Ленинграда был замечательный учитель математики, он говорил: закройте глаза и представьте себе вектор. Я вам говорю: закройте глаза, и представьте себе в середине этой комнаты этот электрон, который я себе представляю как эту квантовую монетку, или как стрелку компаса. Мы не знаем, куда она направлена. Я могу сделать так, что я буду точно знать, что если я смотрю с этой стороны, то монетка смотрит на меня тем, что называется «орел». В этом направлении я точно задал, как монетка ориентирована. А теперь я вас спрашиваю, а как будет монетка ориентирована по направлению вверх-вниз. Вы мне отвечаете: не надо глупых вопросов задавать, я же знаю, что она так ориентирована. И с монеткой так и будет. А с квантовой монеткой, или с электроном, или с квантовым магнитным моментом, на какое бы направление вы его ни спроектировали, это будет или орел, или решка, он ребром встать не может. Но если я точно знаю, что эта стрелочка смотрит сюда, то я ничего не знаю про то, смотрит она вверх или вниз. Вот еще один пример квантовой неопределенности: говорят, что если эта монетка ориентирована вот так, то в этом направлении она находится в квантовой суперпозиции состояний. Это еще одно такое безобразие, которое существует в природе, и внутри нас существует море этих суперпозиций. В каждом сложном атоме электроны находятся в

суперпозиции состояний. И здесь они находятся в суперпозиции состояний одновременно и решка, и орел. И это не то, что мы не знаем, просто она одновременно смотрит и вверх, и вниз.

Вы, конечно, можете считать, что физики это выдумали, но все эксперименты, которые мы делаем, подтверждают, что так оно и есть на самом деле. Ну вот, теперь посмотрим на перепутанные состояния этих двух монеток. Кстати, такие квантовые магнитики являются примером так называемого кубита. Кубит — это мы как раз сегодня обсуждали, это слово происходит от английского слова qubit, то есть квантовый бит информации. Чем он отличается от обычного бита, который или 0 или 1, тем, что он одновременно может быть и в 0, и в 1. Если я сделаю квантовый компьютер, то в нем будут ячейки памяти, которые одновременно и в 0, и в 1. Если вы слышали о квантовых компьютерах, о которых вообще мы сегодня не говорим, то их принцип действия основан именно на этом квантовом параллелизме. А вот это пример перепутанных состояний двух таких магнитиков, двух кубитов, если хотите. Если у меня есть два таких кубита, если они независимы друг от друга, то я посмотрел на один, он мне дал решку, посмотрел на второй — он дал все, что хотите, может, решку, может, орла. Померил еще раз, получил еще какое-то случайное соотношение. Ну, вы кидаете монетку, каждый раз случайно получается. Если эти состояния двух этих квантовых битов перепутанные, то они или оба будут орлами, или оба решками. При этом они могут совершенно друг друга не видеть. Один может быть на Марсе, а другой здесь. Если я их приготовлю в таком суперпозиционном состоянии, то если я посмотрел на свой, и там орел, то вы, когда посмотрите на свой, тоже увидите орла, и наоборот. Это пример такого перепутанного состояния с этими маленькими спинами. Уже на этом этапе должно быть понятно, что это как-то связано с информацией. Например, это здорово можно использовать для каких-нибудь кодировок, правда? Потому что, если у вас в кармане такая квантовая монетка, и у меня такая квантовая монетка, то я посмотрю на свою, и вижу, она у меня решкой, давайте я назову это бит единица, тогда я точно знаю, что у вас тоже единица. А если я увижу ноль, то точно знаю, что у вас ноль, а предсказать заранее невозможно, и клонировать невозможно. Поэтому если кто-то посмотрит на вашу монетку, то он разрушит эту корреляцию. Он на нее посмотрит, и уже ее состояние изменит: он на нее посмотрел. Поэтому даже если он ее украдет у вас из кармана, посмотрит, и положит обратно, то вы его тут же поймаете — надо просто несколько раз проверить, и вы увидите, что кто-то подглядывал. Получаются такие квантовые секреты, которые в принципе невозможно украсть, только монетки должны быть хитрыми. Ну хорошо, давайте мы это проглотим, поскольку время идет.

Ну вот, наконец, вот она уже телепортация, уже картинки пошли хорошие, может быть, мучения кончились, и начнется бурное веселье? В чем проблема-то у нас с телепортацией, как в кино показывают? Показывают в кино, сижу я, ничего не подозреваю, вдруг я испаряюсь, превращаюсь во что-то светящееся, кадр тухнет, новый кадр — и оттуда из чего-то такого же сверкающего возникает я. Если это не rock concert, то приходится думать о том, что это какое-то излучение было, меня превратили в излучение, туда я улетел. Но чудес-то не бывает, нужно эту материю во что-то превратить. Ничего быстрее скорости света не летает, значит, надо превратить в свет, туда послать и там собрать. Ну, трудно превратить материю в свет, очень трудно, очень много энергии на это уйдет.



Но есть другой способ. Если нельзя превратить материю в свет, а потом послать эту материю, то что же посылать? А очень просто, информацию надо посылать. Я там при всей своей хитросложности, и при всяких мечтаниях и мыслях, могу быть записан как нули и единицы, или нет? Не могу, мы же только что договорились, что не могу. Получается проблема. Не могу я посмотреть на объект квантовый, записать все его координаты как нули и единицы, послать радиоволнами, а там человек, который будет сидеть на другом конце, ну, подумаешь, там собрать атомов углерода, кислорода, водорода, еще немножко полония, который во мне находится, не проблема. Надо только инструкции знать, но получается, что инструкции-то невозможно послать. В этом коренная трудность телепортации, что инструкции послать нельзя, а железо посылать не хочется. Как быть? Тут приходят на помощь эти самые перепутанные состояния. Вот Лев Вайдман, между прочим, человек, родившийся в России, придумал такой принцип. Давайте посмотрим, арифметика такая, это второй класс, будем вычитать и прибавлять. Вот две частицы, каждая из них описывается положением и скоростью, или моментом. Эта такая, эта сякая. А мы их создали в перепутанных состояниях. Перепутанные состояния означают, что мы точно знаем расстояние между ними. И сумма скоростей тоже точно известна.

Запомните, что мы точно знаем $x_1 - x_2$ и $p_1 + p_2$. Мы можем создать такие состояния.

Дальше мы берем меня или желающих из аудитории, которые тоже описываются положением и скоростью, xV

, pV . Ни то, ни другое точно я знать не могу и не хочу. А теперь я делаю следующее. Вот эта пара находится тут на Земле, а этот господин, который с этим перепутан, находится Бог знает где. Теперь следите за моими руками. Что мы делаем? Мы здесь на Земле производим измерение расстояния между моей частицей и одной из этих перепутанных, $\text{to est } x1 - xV$, и сумму их скоростей, $\text{to est } pV + p1$. Я могу это сделать, помните, я вам говорил, что квантовая механика не запрещает мне измерить расстояние и сумму скоростей, это то, что мучило Эйнштейна? Я это сделаю, и как раз в этот момент и координата, и скорость обеих этих частиц будут сильно изменены, поэтому я нарисовал здесь, что неизвестно, что там происходит. Это означает, что оригинал стерли, у оригинала теперь положение и скорость неизвестная. Зато мы знаем эти два числа. Мы знаем разницу между $x1 - xV = Cx$, и сумму скоростей, это такое число: $p1 + pV = Cp$. Звоним по телефону на Альфа Центавру и сообщаем туда числа Cx , Cp , или посылаем радиоволны, это тоже ключевой момент, потому что для того, чтобы мне что-то сообщить на Альфа Центавру, нужно туда позвонить или послать радиосигнал. Процесс телепортации не может произойти быстрее скорости света, ничего мы тут не нарушаем. Мы берем это число Cx , и вычитаем его из $x2$. А это число у нас $Cx = x1 - xV$. Тогда новое значение $x2 - Cx = x2 - x1 + xV = xV$, поскольку $x1 - x1$ это ноль. Поэтому, они сократятся, эти два, и получится у меня ровно то, чего я хочу, получится это xV , то же самое с этими p . Конечно, это очень условно, но принцип, я надеюсь, понятен. Это правда, просто я взял, положил эти числа нулями, поэтому получается, как это понять, что координата этой частицы такая же, какая она была здесь, эта на Земле, эта на Альфа Центавра? Ну, в какой-то системе координат это так, просто потому что мы в точности знаем такие разности. Теперь вы с гордостью можете рассказывать своим любимым, детям и внукам, что такое квантовая телепортация. Поехали дальше.

Чтобы уж совсем запомнить, хочу сделать телепортацию. Беру кучу мусора на земле, в которой находятся все атомы, содержащиеся в этом джентльмене. Сооружаю кучу мусора на Марсе из таких же атомов, организую перепутанные состояния между ними, но как – это надо идти учиться, потом идти работать или в русский или в датский квантовый центр, там научат. Как только я это сделал, я делаю такое измерение, $x1 - x2$ и $p1 + p2$, вот я делаю тут это измерение. В результате этого измерения, к сожалению, Альберт Эйнштейн превращается в нечто несусветное, но зато мы получаем информацию. Эти числа Cx и Cp , которые мы пошлем радиоволнами сюда. Тут мы инструкции применим к этой куче мусора, которая была с этой кучей мусора перепутана, - и вуаля. В некотором смысле мы это и сделали какое-то время назад, и поскольку телепортация – это такое слово очень привлекательное, журналисты и вообще люди его очень любят, то в результате это все кончилось на CNN, но тем не менее, это было опубликовано в самом серьезном и лучшем журнале, вот здесь вы видите моих замечательных аспирантов, а тут вы видите, что это все собой представляет, в общем, похоже на то, о чем я вам рассказывал.

Тем не менее, здесь на заднем плане вы видите два таких вот цилиндра, может, мы их еще увидим чуть позже, внутри них находятся маленькие стеклянные колбочки с атомами, и вот именно эти атомы мы и телепортировали, а вернее, их квантовое состояние. Надо сказать, что этих атомов 1012, то есть много. Мы тут посмотрим на то, что здесь находится. Здесь находится - это пример для вас, как выглядит лаборатория квантовой оптики, не всякая, но моя, - множество всяких маленьких оптических элементов, сделанных с необычайной точностью, элементов, которые могут изменять свойства света тем образом, которым нам нужно. Тут видна только небольшая часть этих приборов, это маленький лазер хороший, и так вот все это происходит. Что куда телепортировалось, это я немножечко вас обманываю, потому что на CNN был эксперимент 2006 года, а этот эксперимент только что принят в печать. И он принят в печать в журнал Nature, который запрещает мне говорить это на публику, поэтому никому не рассказывайте.

Что тут произошло? Произошла телепортация состояния этих магнитных моментиков атомов из этой внутренности ящика в этот. Как мы это сделали? Мы приложили магнитное поле, как вы понимаете, ничего я объяснить тут не смогу, просто, что происходит в принципе. Приложили магнитное поле, послали импульс света, вот он сначала был здесь, потом он стал тут. И вот когда этот импульс света прошел через вот эти атомы, которые там внутри сидят, он с ними перепутался, во что, в общем, можно поверить. Теперь этот предмет находится в полуметре, потому что кому охота ставить его на 2 километра? В принципе, он мог бы и на 2 километрах находиться, важно только, чтобы этот свет никуда не потерялся, потому что тогда потеряется перепутывание. Прошел дальше, провзаимодействовал вот с этим спиновым облаком, которое мы хотим телепортировать, вот здесь Эйнштейн сидит, и тут мы его померили. После этого взаимодействия стерся Эйнштейн здесь, и с помощью детекторов, которые там стоят, мы получили два магических числа, которые нам теперь нужно послать сюда. Сюда мы их пошлем, и эту информацию мы приложим тут к этим спинам, аккуратно с ними что-то сделаем - и произведем телепортацию оттуда туда.

Мы сейчас с вами 10 минут еще послушаем. Я просто хочу, чтобы вы запомнили, с чем мы играем. Внутри этих цилиндров находится такая вот стеклянная ячейка, в которой внутри летают эти спины. Там их не 4, там их 1012. И мы переносим состояние спинов отсюда вот сюда, ну и тут всякие физические штучки, просто

потому, что я взял слайды с настоящей лекции. Может быть, это, кстати, может быть интересно и понятно, потому что все эти спины, которые находятся в одной из этих колбочек, у них есть эти магнитные моменты, и я могу их приготовить таким образом, что они примерно сюда смотрят, но куда они точно смотрят, я не могу сказать, потому что там квантовая неопределенность. Что мы здесь телепортировали? – это мы телепортировали то, что происходит с одним спином, на другой. Один из них танцует, а другой слышит музыку и тоже под нее танцует. Вот этот шум, который вы здесь видите, это просто потому, что мы этот эксперимент повторили 10000 раз, потому что нам надо посмотреть на эти шумы, на квантовые неопределенности. Но фокус заключается в том, что шум вот здесь и шум вот тут – это источник динамики, это то, что с этим спином происходит, он тут танцует. Посмотрите, конец этой спина так вот танцует, эта красная траектория – это средняя траектория. А если каждый раз померить, то получатся какие-то точки рассеянные. Тем не менее, в результате телепортации я эту траекторию, которая где-то в шумах тонет, ее не видать, я ее телепортировал сюда, и она, в общем, не так-то сильно изменилась. Я взял вот этот большой свой атомный ансамбль в простеньком состоянии, когда все спины смотрят примерно в одну сторону, но я сумел сделать – не я, конечно, а мои замечательные молодые сотрудники, – и получился вот такой перенос. А если бы я стал это делать классическим образом, то у меня бы тут появился сплошной шум.

На этом слайде я объясняю, каким образом все эти квантовые неопределенности можно использовать для квантовой криптографии. А здесь я хочу вам показать, что, как говорится, размеры предметов или систем, в которых квантовые эффекты важны, они со временем растут, увеличиваются. Если раньше квантовые эффекты наблюдали только на уровне одиноких частиц, то теперь посмотрите – это наши облака атомов, которые мы телепортировали, а сейчас во многих лабораториях люди играют уже с абсолютно макроскопическими объектами. Что тут нарисовано – это мембрана, толщина ее 50 нанометров, там на толщине мембраны примерно 300-400 атомов. Но тем не менее, это вещь, вы ее возьмете в руки, и вы ее видите, эта вещь колеблется, потому что при конечной температуре все колеблется. Оказывается, что можно наблюдать квантовые неопределенности колебаний этой вполне макроскопической мембранки, и я уверен, что в течение следующих 5-7 лет удастся телепортировать колебательное состояние одной мембранки на другую. Ну вот, это у нас будет тренировка английского языка. Вот квантовые механические чудеса, я хочу здесь просуммировать, чем нам это грозит. Мы знали всегда, с 1924 года, что квантовые объекты нельзя точно измерить. Нельзя их скопировать в точности, это мы выяснили в 1981 году, но они могут существовать в суперпозиционных и перепутанных состояниях. Из этого следует, что возникла новая наука о квантовой информации, которая говорит, что вообще информация вся физическая, потому что она всегда записана на физических объектах. В этом приборчике информация записана как заряды каких-то конденсаторов. Если посмотреть глубоко внутрь, сейчас размер элементарной ячейки в моем лаптопе, ему года 4, там размер может быть 40 нанометров, может быть, 60. В сегодняшнем поколении это уже 20, а это все падает по так называемому закону Мура, это означает, что каждые полтора года размер элементарной ячейки компьютера уменьшается в 2 раза, и легко себе представить, что лет через 10-15 размер упрется уже в размер нескольких атомов. И тут уже отступать некуда, тут уже надо рассматривать все эти квантовые эффекты и т.д. Это такой другой поворот темы.

Что нам обещает эта квантовая информация? она нам обещает квантовые компьютеры, которые будут работать бесконечно быстрее, чем такие компьютеры, она нам обещает коммуникации, связь с абсолютной секретностью. Я вам немножко рассказал про эту секретность: если вы и я делим эти перепутанные состояния, никто их украсть не может, посмотреть и вернуть обратно. Телепортацию мы прошли, квантовую память, которая похожа на телепортацию. И, в общем, наверное, мы на этом закончим. Тут я просто привожу пример того, как часы можно сделать еще точнее, чем они есть сейчас, используя перепутанные состояния. Спасибо вам за внимание, это было непросто.

Обсуждение лекции

Борис Долгин: Спасибо большое! Если вам нужно размяться, я думаю, это никого не смутит. Опять-таки, если кто-то уже не выдерживает температуры или еще чего-нибудь, отдохните – и мы продолжим.

Вопрос из зала: У меня вопрос технический. Когда мы делаем эту телепортацию, мы здесь, на стороне отправления, измеряем, получаем какое-то число. Не очень понятно, что мы с этим числом делаем.

Юджин Ползик: Давайте мы пойдем обратно, и на этой картинке мы увидим, что мы с ним делаем. Когда мы получили эти два числа, мы их посылаем туда, и после этого мы в соответствии с этим числом сдвигаем частицу, а в соответствии с этим числом изменяем ее скорость. Если это происходит со спинами, то два числа соответствуют повороту спина в этой плоскости и в этой плоскости.

Вопрос из зала: В этих колбах вакуум?

Юджин Ползик: Там вакуум, кроме этих вот атомов, которые летают. То есть там только атомы определенного свойства. Необязательно их считать, как выясняется.

Борис Долгин: Что вы о них знаете?

Юджин Ползик: Нам не нужно знать точно их количество, но нам нужно знать, что их 1012, а не 21012, и нужно точно знать, что все их спины мы как можно лучше сориентировали в определенном направлении. Это мы можем сделать, посылая на них особенный свет. До того, как весь процесс происходит, мы приготавливаем их, и у нас получается такой вот большой вектор. Нужно твердо знать, что за атомы, конечно. И эти атомы цезия, которые мы используем, они изучены вдоль и поперек, все о них известно, про их энергетические уровни, про то, как они реагируют со светом, про то, какие у них эти магнитики, это все досконально известно.

Вопрос из зала: Скажите, пожалуйста, при разрушении состояния, вы не рассматривали память, и это разрушение, по крайней мере, в теории, можно обратить, если дать параметры памяти?

Юджин Ползик: Возможно, вы знаете теорию Эверета о многих мирах лучше, чем я. Все, что я знаю про то, что Эверет предлагает, можно суммировать так. Пси-функция – это та самая волновая функция, это уж я твердо знаю, которая описывает состояние частиц в квантовой физике. Помните, я вам показывал электрон, и говорил, что у него орбиты нет, а на самом деле у него такое облако? Вот это облако описывается пси-функцией. Я думаю, что трактовать Эверета все-таки придется с каким-то обращением времени. Я не стану ставить свое имущество на спор, но я думаю, что для того, чтобы прочитать эту память, придется с машиной времени ехать в обратную сторону, а этого я не знаю, как сделать.

Вопрос из зала: Мне вспомнилось утверждение, что если возможна телепортация, то возникает вопрос, что если мы первоисточник оставим, не разрушая, то получается два объекта, совершенно идентичных. Но как я понял сегодня, что первый умрет, уничтожится.

Юджин Ползик: Так оно и есть. Это больше, чем правда: так оно и было на самом деле.

Вопрос из зала: Почему мы разрушаем объект, который мы копируем?

Юджин Ползик: Почему мы его разрушаем... Потому что законы природы таковы, что для того, чтобы прочитать эти числа как следует, мы обязаны разрушить. Читая, мы воздействуем, и если мы хотим с точностью прочесть разницу расстояний, то каждое из них мы должны, как мы говорим, такое возмущение на него приложить этим воздействием, что от него ничего не останется. Есть один замечательный пример. Есть такое понятие - перепутанные состояния, они моногамные. Моногамия – значит, что я могу быть только с одной женщиной сильно связан. Если я связан с несколькими, то послабее. Если есть перепутанные состояния двух объектов, то никакой из этих объектов не может быть перепутан с еще одним объектом. Если посмотреть на эту картинку, то становится понятным, что вначале у нас эти два были перепутаны, а если мы сделаем эту операцию, и они все равно останутся перепутанными, то тут уже будет подсудное дело, и моногамия нарушится.

Вопрос из зала: Надежда. Вопрос такой, почему мы утверждаем, что мы уничтожаем состояние? Ведь можно же рассматривать возможности слабых воздействий, то есть тех, которые мы подглядели, и не разрушили состояние.

Юджин Ползик: Это хороший вопрос, спасибо. Про статистику не стоит говорить. Мы делаем, конечно, 10000 раз этот эксперимент, потому что измерения должны быть точные, надо собрать статистику, иначе никто не поверит. Но в принципе каждая попытка этой телепортации увенчивается успехом. Дальше возникает вопрос, а что будет, если я сделаю так, как вы говорите, и тут померяю слабенько, тогда получится, что я на самом деле телепортирую не с очень хорошим качеством. У Эйнштейна будет нос не тот, и прочее. Есть на эту тему абсолютно строгие утверждения квантовой механики. Если я хочу сделать 2 копии одного и того же объекта, то я могу точно вычислить, какого качества эти копии будут. Чем больше копий, тем хуже качество каждой.

Вопрос из зала: Иван. У меня такой вопрос. В начале был слайд, мы пытаемся померить координату атома с помощью фотона, но потом... А если мы будем пытаться померить координаты футбольного мяча с помощью теннисного мяча, то будет то же самое? Тоже будет квантовая система?

Юджин Ползик: Совершенно верно. Я даже тут, помните, попытался какие-то числа приводить, цифры. Даже не футбольный мяч, а я вот взял частицу в 1 миллиграмм, и взял все-таки фотон, а не теннисный мячик, и все равно получилось, что неопределенность скорости такая маленькая, что никому нет дела до этого. Вы знаете,

одно из моих утверждений заключается в том, что если смотреть аккуратно, то все квантовое, только надо смотреть аккуратно и быстро. Почему быстро? Потому что эти квантовые состояния, это опять моногамия, предположим, у меня в рубашке какой-то электрон перепутан с соседним электроном, при этом я тут сижу, на меня светит свет, по мне текут всякие токи, потоки, и эти перепутанные состояния не проживут там и фемтосекунды, поэтому одна из главных проблем всей этой квантовой информатики в том, чтобы сконструировать системы, которые настолько хорошо изолированы от всех остальных безобразий, что с ними можно эту квантовую инженерию производить, и какое-то время на это иметь. А физики, на самом деле, меряют на очень быстрых временах, то есть наносекунда – это совершенно не проблема сейчас померить, и все равно, даже на таком временном масштабе во мне никакого перепутывания не найти. Хотя - перескочу на другую тему - народ сейчас изучает возможности перепутанных состояний в мозгу птиц, которые, возможно, используют эти перепутанные состояния для навигации по магнитному полю. Возможно, это в сетчатке. Потом, кто-то смотрел на фотосинтез, благодаря которому мы тут все живем и процветаем, там тоже стали пытаться искать следы этих перепутанных состояний. Биологи давно этим интересовались, но поскольку очень немногие из них знают физику, десять лет назад я получал такие письма от биологов, что душа уходила в пятки. Но теперь действительно серьезные ученые начинают этим заниматься.

Вопрос из зала: Сергей. Прошу прощения, если у меня глупый вопрос, я не физик. Можно ли каким-то образом измерить эти квантовые состояния с помощью каких-то других способов, кроме фотонов? И второй вопрос: можно ли остановиться подробнее на том, каким образом добиться этого перепутанного состояния?

Юджин Ползик: Давайте я начну со второго вопроса, потому что он проще. Как сделать перепутанное состояние? Как говорится, плюнуть раз. Взять кристалл, купить за 30 000 рублей, дорого. Взять лазер и посветить лазером синего цвета в этот кристалл. В этом кристалле в силу неких процессов, которые там происходят, произойдет преобразование одного синего фотона в два красных. Это разрешается законами сохранения энергии, потому что синий цвет более мощный, и энергия одного синего фотона равна энергии двух красных. И эти два красных фотона, которые вылетят, они будут перепутанными. На этом деле сделано, я думаю, тысяч 10 PhD. И это рабочая лошадка перепутанных состояний света, эти два фотона можно развести. Сейчас делаются эксперименты на Канарских островах: где их еще делать? Там на двух островах есть две очень хорошие горы, и мой замечательный коллега Антон Цалленгер со своими студентами в поте лица там делает эксперименты, получается, что один из этих фотонов они посылают с одного острова на другой, и они могут это перепутанное расстояние организовывать на расстоянии 120 километров. Почему нужно на Канарские острова ехать? – понятно почему, потому что там чистый воздух, и есть две горки, с которых прямая видимость. А перепутанные состояния – их терять нельзя. Если этот фотон там проходит через атмосферу, у него начинают меняться свойства, это уже начинаются неприятности.

Еще один замечательный способ – это взять опять же этот кристалл, из которого вылетают два перепутанных фотона, повесить спутник, и послать один из этих фотонов на спутник. Почему на спутник – потому что для того, чтобы к спутнику пройти, нужно всего 6-7-10 километров атмосферы проехать, а дальше все даром. Все эти квантовые коммуникации на самом деле в безвоздушном пространстве, где ничего не теряется, значительно было бы проще делать. Но нет еще таких людей, которые на это деньги дают. Но говорят, что есть такой европейский проект. Первый вопрос был, нельзя ли померить без всяких мешающих фотонов? Можно. Можно взять один атом и заставить его взаимодействовать с другим атомом, посмотреть на этот другой, и выяснить, что произошло с первым. Но результат все равно будет одним и тем же, в том смысле, что не объехать квантовые неопределенности. Хотя, как выяснилось, можно! Это одна из моих самых любимых последних тем, и если вы еще не совсем спеклись, то в конце для избранного круга лиц можно рассказать о том, как объехать квантовые неопределенности.

Вопрос из зала: Федор. Я хотел бы узнать ваше мнение, считаете ли вы, что наш человеческий мозг в какой-то мере может быть базовым компьютером, который существует в природе?

Юджин Ползик: На этот вопрос я отвечаю «Да», потому что мне очень нравится, есть такая книжка, которую сейчас усилиями русского квантового центра переводят на русский. Книгу написал Дэвид Дойч, она называется «Начало бесконечности», и еще одна книжка, которая тоже переводится, Сет Ллойд ее написал, «Вселенная как квантовый компьютер», и можно действительно рассматривать все, что вокруг нас происходит, как элементарные операции квантового компьютера. Если раскопать глубоко внутрь, то опять-таки все мы состоим из этих самых электрончиков, каждый электрончик можно считать отдельным квантовым битом, и все, что в нас происходит, – это взаимодействие этих квантовых битов. Чем это не квантовый компьютер? Не очень понятно, что он вычисляет, но он не вычисляет, он моделирует нас самих.

Вопрос из зала: Вячеслав. У меня вопрос по презентации. В первом случае понятно - мы измеряем расстояние между двумя частицами. Здесь мы должны произвести какой-то акт измерения с учетом этой

информации, но мы передаем состояния и сумму импульсов. Относительно чего мы будем измерять это расстояние и этот импульс?

Юджин Ползик: Предполагается, что все это сидит в какой-то общей системе координат. И каждый из этих x и y я вычисляю относительно какой-то общей системы координат. Нужно всегда частицы измерять относительно какой-то системы координат, и чаще всего эта система координат как-то определяется. Ну вот - стол, стул, Солнечная система, что-то такое большое и классическое. И здесь эта логика точно так же применяется. Но если начать систему координат рассматривать как квантовую систему, еще и со специальными свойствами, тут уже все начинает плыть. Но ответ на ваш вопрос – в физике всегда вводится некая система координат. Я вам приведу такой пример: не будем брать свободные частицы, а возьмем одну из этих мембран. Вот она колеблется, ее положение, как струна, отсчитывается в соответствии от положения ее нейтраллии. Все эти x и y будут отсчитываться от положения ее нейтраллии, и как результат, мы сможем в точности колебательное движение одной мембранки передать на другую мембранку, и расстояние между ними нам неважно, потому что это колебательное движение, а где она сама расположена – это нам все равно.

Борис Долгин: А в каком смысле систему координат можно рассмотреть как квантовую систему?

Юджин Ползик: Вот что я предлагаю, и что в некотором смысле мы уже показали, - давайте возьмем одну из этих частиц и просто будем считать ее находящейся в начале координат, а другую частицу будем рассматривать в системе координат, связанной с первой. И дальше получается следующее: если я начну измерять координату этой моей частицы по отношению к системе координат, связанной с другой частицей, если я выберу эту другую частицу с отрицательной массой, и если я сумею создать перепутанное состояние этих двух частиц, тогда в системе координат, связанных с частицей с отрицательной массой, траектория будет известна абсолютно точно без всяких гейзенберговских неопределенностей. Я могу даже такой слайд где-нибудь найти. Может быть, еще какие-то есть вопросы? Еще про эффект Вудро-Вильсона-Гейзенберга, который я тоже не знаю.

Вопрос из зала: Олег. Вопрос про кристалл был. А можно ли получить больше, чем два фотона?

Юджин Ползик: Можно, и это делается. Можно это сделать с кристаллом, можно делать с атомами, можно организовать так, что перепутанное состояние будет между тремя частицами. Я вам сказал, что только две частицы могут быть идеально перепутаны, а третья не может. Но тут вы уже вторгаетесь вместе со мной в область квантовой информатики, которая занимает умы тысяч теоретиков, они именно этим и занимаются. Что означает, когда три частицы находятся в абсолютно перепутанном состоянии? Например, можно представить, что спины у этих частиц находятся в суперпозиции: или все три вверх, или все три вниз. Это называется Котенком Шредингера. Дейв Вайнлэнд, один из лауреатов Нобелевской премии в прошлом декабре, он ровно такие состояния своих атомов сделал. И второй получатель этой премии сделал еще более хитрые состояния микроволновых фотонов. То есть можно, народ работает в этом направлении. Насколько я знаю, на языке одиночных частиц, рекорд сейчас не то 13, не то 14 атомов, сидящих в такой ловушке, это ионы, вообще-то, которые находятся в перепутанном состоянии. С другой стороны, я вам сейчас показал пример перепутанного состояния: миллион миллионов атомов здесь, и здесь миллион миллионов атомов. Но надо понимать, что то, что мы делаем, это не то, что каждый атом с каждым перепутан, но они так все вместе эти перепутаны со всеми вместе этими, то есть перепутывание послабее.

Вопрос из зала: Никита. Меня интересует вопрос по поводу этих перепутанных состояний. Раз есть две частицы в перепутанном состоянии, если мы воздействуем на одну частицу, это воздействие каким-то образом должно отобразиться на второй. Меня интересует, как осуществляется эта связь между двумя частицами, которые находятся в перепутанном состоянии. И не вступает ли в противоречие этот способ передачи с убеждением, что ничего не может двигаться быстрее скорости света? Если мы берем две частицы, которые находятся в перепутанном состоянии, разносим их на разные концы вселенной и начинаем взаимодействовать с одной частицей, то это начинает отражаться на другой частице, которая находится на расстоянии многих световых лет. Можно ли с помощью этого достичь скорости света?

Юджин Ползик: Спасибо за вопрос, ответ – нельзя. В ответ, например, что ничто не может двигаться быстрее скорости света, я предлагаю следующий инструмент. Берем два лазера, пересекаем их в пространстве. Точка пересечения этих двух лучей, если мы так начнем с этими лазерами делать, она будет двигаться с какой угодно скоростью. Представьте себе два карандаша, я их начинаю так переворачивать, их точка пересечения движется с любой скоростью, никакого физического ограничения на это нет. Что не может происходить быстрее скорости света? Передача информации. Это мы совершенно твердо знаем, поэтому когда у нас две перепутанные частицы, и, скажем, в спиновом смысле, помните я вам говорил, в спиновом смысле перепутанные состояния – это значит, что если одну померили, она наверх, то и вторая наверх, и наоборот.

Информации при этом не передается, это случайная реализация. Вы просто как бы организуете, то есть вы не можете заранее предсказать, вы не можете в эту частицу записать информацию, потом ее померить и на той стороне получить. Все, что у вас есть, – это корреляция. А информацию для того, чтобы передать, нужно использовать принцип телепортации, и если вы помните, завершается телепортация тем, что я посылаю результаты отсюда туда, это я должен сделать, используя обычный классический канал передачи, то есть не быстрее скорости света.

Вопрос из зала: У меня еще один вопрос про телепортацию. Мы измеряем с какой-то точностью, и передаем какую-то конечную информацию с какой-то точностью. Значит, мы воспроизводим тоже с какой-то точностью, а не абсолютно то же самое?

Юджин Ползик: Конечно, это наша маленькая техническая проблема. Все, что не запрещено законами физики, все разрешено. Во-первых, самое главное, что я могу померить эту разницу по законам квантовой физики в принципе с любой точностью. А уж с какой точностью я ее померю – это зависит от того, сколько денег я заплачу за линейку.

Вопрос из зала: Ну а если мы хотим переместить себя, мы хотим, чтобы именно то же самое переместилось?

Юджин Ползик: Наши представления о практической телепортации сильно расходятся. Понимаете, телепортировать биологический объект – это означает телепортировать все его степени свободы, то есть все координаты всех электронов, все спины, их же там тьма, это просто устанешь измерять. Я не говорю, что это невозможно. Я просто говорю, что до того, как мы дойдем до вашей проблемы точности измерений, нам еще много предстоит рассмотреть, прежде чем мы сможем телепортировать мало-мальски простую систему. Пока что мы знаем, что если бы мы смогли телепортировать что-то около 20-30 между собой перепутанных частиц, то это был бы уже квантовый компьютер, который может производить вычисления, недоступные классическому компьютеру. Есть граница, все эти операции, их нельзя сделать классическим... можно! Только получится плохо. В каком смысле плохо? Будут флуктуации, будут шумы на этой штуковине, и можно сосчитать, какие шумы будут. Потому что в классической передаче информации, если я померил координату, то я на скорость произвел какое-то воздействие, но давайте мы это оптимизируем, и померим координату настолько хорошо, чтобы этот импульс не очень изменить, и произведем такую же операцию передачи, и тут получится кое-чего. Но только с флуктуациями, и эти флуктуации произойдут прямо из квантовой механики. Можно сосчитать какие-то флуктуации, это будет классический предел. Если мы делаем что бы то ни было лучше этого классического предела, значит, мы посылаем статью, даем интервью. Но не со стопроцентной чистотой и красотой. Если классический предел – это 50% качества, а мы сделали 65, через год сделали 75, потом 90, ну а дальше уже это как... Принципиально ограничений нет.

Борис Долгин: Технически мы и с помощью самолета не со стопроцентной вероятностью долетаем.

Вопрос из зала: Если существуют 2 разные частицы в разных заданных местах, переплетенные, и они одновременно меняются, то есть никакого переноса информации при этом не происходит, нельзя ли рассуждать так, что это одна частица, и у нас просто иллюзия того, что их две?

Юджин Ползик: Вы знаете, это совершенно замечательная идея, но, к сожалению, в свете предыдущего вопроса вы не первый, кому она пришла в голову. Действительно, это очень хорошая интерпретация. К примеру, у фотонов, которые эти два красных фотона, был очень хороший русский ученый, не так давно он умер, его фамилия была Клышко, он работал в Москве. Он эти два фотона просто называл бифотоном, потому что он считал, что их можно рассматривать, как некую одну квазичастицу. Мне это не очень нравится. Мне больше нравится говорить про корреляции, но если перевести это утверждение на физический язык, это будет звучать так: у этих двух частиц волновая функция, эта пси, про которую мы слышали, она не может быть записана как комбинация, как произведение волновой функции одной на другую, в этом математическое выражение перепутанности, то есть у них одна волновая функция, которую не разбить на волновую функцию этого и этого. В этом смысле, это одна частица.

Вопрос из зала: Я не физик. Скажите, вы делаете эту телепортацию только один раз. А если повторно это же, что вы телепортировали слева направо, опять дальше, то есть каждый раз будет ухудшаться качество?

Юджин Ползик: То, что вы предлагаете, опять-таки, к сожалению, это уже изобрели. То, что вы говорите, – это основа передачи квантовой информации, квантовых состояний на дальние расстояния, потому что, когда мы передаем информацию сейчас, вся эта цифровая информация, она по световым кабелям куда-то идет, потом как-то ослабляется, потом ее усиливают в таких повторителях. А квантовую информацию нельзя усилить, потому что если я усилию квантовое состояние в два раза, значит, у меня получится две копии, а это нельзя.

Нужно изобретать квантовые повторители, и они основаны ровно на этом принципе. Вы берете большое расстояние, разбиваете его на части, перепутали эти два, перепутали эти два, телепортировали - и так много раз. Это, к сожалению, еще не вполне сделано, но известно, что это путь к этой передаче квантовых состояний, информации на большие расстояния, которые в принципе не чувствительны к потерям.

Вопрос из зала: У меня еще вопрос по поводу самой телепортации. Когда мы берем частицы, в данном случае, мы берем фотон, мы с ними проводим манипуляции, которые вы описывали, как мы их можем уловить? Если это фотон, который движется со скоростью, близкой к скорости света, как мы его можем поймать?

Юджин Ползик: Знаете, мы тут сидим с вами и только этим и занимаемся, что ловим фотоны. Я смотрю - и ловлю фотоны глазом. Конечно, ваш вопрос глубже, потому что понятно, что глазом отдельный фотон не увидишь. Но интересно другое. Мой друг и коллега Николя Жизон в Женеве ставил специальные эксперименты, сколько фотонов в полной темноте может увидеть ваш глаз. Получилось, что несколько сотен отдельные люди видят. Один фотон не видит пока никто. Отдельный фотон регистрируется детектором, который покупается за деньги. Одни из лучших на белом свете детекторов одиночных фотонов делаются в Москве, в лаборатории профессора Гольцмана, который сотрудничает с Российским квантовым центром, эти детекторы основаны на сверхпроводимости, там очень элегантная идея. Сверхпроводимость очень чувствительна к энергии. Если вы какую-то энергию в сверхпроводник впрыснете, сверхпроводимость пропадает. Гольцман разработал детекторы, в которых сверхпроводимость пропадает от одного фотона, получается сигнал электрический. Эти идеи сейчас распространяются по всему свету.



Вопрос из зала: Андрей. Если мы хотим произвести квантовую телепортацию, сколько классических битов нужно переслать?

Юджин Ползик: Зависит немножко от того, какое состояние этих спинов вы хотите переслать. Если просто отдельные, то на эту тему существует теорема, которая называется плотное кодирование. Она утверждает, что если у вас есть перепутанное состояние этих спина с другими спинами, то для того, чтобы вам потом телепортировать, классических битов надо послать в половину меньше, чем если бы это было в квантовой ситуации. Хотелось бы выигрывать больше, но пока только так.

Вопрос из зала: Сергей, Минсвязи. Какое количество информации нужно передать для того, чтобы телепортировать какую-то частицу? На это уже ответили. Другой вопрос, из простых, это состояние, которое называется приобретенным, не является ли оно просто таким событием, когда две частицы находятся в одинаковом состоянии, и вы, измеряя эту частицу, просто знаете, что другая частица точно в таком же состоянии в другом месте?

Юджин Ползик: Представьте себе ситуацию. Какой-то третий человек нам с вами дал по два ведра мячей. И он нам сказал, что я заберу у одного из вас ведро белых мячей, а другому дам ведро белых, но не говорю, кому какое. Вы едете на Марс, я остаюсь на Земле, я открываю свое ведро, вижу там белый мяч - и делаю вывод, что у вас там все черные мячи. Вот это да, вот это перепутанные состояния, вы жулик, лектор! Фокус перепутанных состояний в квантовой теории заключается в корреляции не только одного свойства, а двух или больше, предположим, что в ведрах не мячи, а магниты, они сохраняют свое направление. Если это

классические магниты, я посмотрел в свое ведро, мой магнит смотрит вверх, значит, ваш смотрит вниз. А в квантовой ситуации я могу проверить направление вверх-вниз, если мой смотрит вверх, ваш смотрит вниз. А могу проверить направление вправо-влево, если мой смотрит влево, ваш смотрит вправо. Могу проверить направление вперед-назад. Я могу проверить только в одном направлении, но в каком бы я ни проверил, ваша частица будет коррелирована. Это ответ на вопрос о том, в чем разница между классическими корреляциями и этими квантовыми, которые соответствуют перепутанным состояниям. Вопрос о том, можно ли полагать это одним и тем же состоянием двух частиц, я бы аккуратно сказал, что две частицы находятся в одном квантовом состоянии, которое нельзя разделить на две независимые части, в этом смысл корреляции.

Борис Долгин: И теперь о том, как же вы обходите квантовые эффекты.

Юджин Ползик: Эта часть уже будет настоящей лекцией, тут будет не до шуток. Ну вот оно, началось. Вот классическая траектория: частица летит себе, точно знаем, куда летит, когда прилетит и во что ударится. Вот квантовая траектория. Даже если мы точно знаем координату, то мы не знаем скорость, поэтому она неизвестно куда летит. Можем ли мы создать такую квантовую траекторию, которая будет вести себя как классическая? Тут начинается арифметика. Значит, вот эта координата как функция времени. Для того чтобы координату в определенный момент времени выяснить, мне нужно знать координату в начальный момент времени, плюс время умножить на скорость, скорость – это производная координаты. Производная от координаты – это вообще-то импульс, то есть скорость, помноженная на массу. Поскольку эти две величины одновременно измерить нельзя, соответственно, траектория расплывается. Если я точно знаю координату в начальный момент, значит, я не знаю импульса. Если я точно знаю скорость, значит, не знаю, где она была. Тут и говорить не о чем. Вот она расплывается себе, и вот четыре ступени к полному счастью, четыре ступени к бесшумным квантовым траекториям. Утверждение первое – траектория всегда должна быть по отношению к какой-то системе отсчета. Это понятно, тут не о чем спорить. Мы берем эту систему отсчета – и относимся к ней, как к ней положено относиться, то есть как к квантовой системе. К этому столу, для того, чтобы мне относиться как к квантовой системе, нужно сильно поработать, но я хочу так сделать.

Следующее уже хуже, тут нужно, чтобы у этой системы была отрицательная масса, но можно спастись, вместо отрицательной массы можно взять осциллятор с отрицательной частотой. И, наконец, я должен создать перепутанное состояние своей частицы с вот этим отрицательной массы началом координат, тогда все будет очень хорошо. Причем, знаете, должен сказать с полной ответственностью, что на бумаге это выглядит просто до невероятности хорошо. Мы знаем, что нам можно создать состояние между нашей частицей, которую мы берем как опорную, и нашей интересующей частицей так, что разность будет точно известна, положим нулем, и сумма скоростей точно известна. Смотрим, координата частицы по отношению к началу отсчета – это ее начальное положение плюс разность импульсов на время. Пишем, получаем, ничего не выходит, потому что мы точно знаем разность координат и сумму моментов, а нам нужна разность моментов. Понятно, что для того, чтобы предсказать координату одной частицы по отношению к другой, нам нужно знать относительную скорость, а не сумму этих скоростей, и тут получается следующее. Производная координаты – это на самом деле импульс разделить на массу. Если эта масса будет отрицательная, то этот минус изменится на плюс. Можете себе представить, что это никому в голову до нас не приходило. И вот тут возникает плюс, а если это плюс, то я точно знаю эту, и точно знаю вот эту, и в принципе траектория может быть совершенно классическая.

Вы мне скажете: ха-ха-ха, слышали мы сказки. Я отвечу, что если траектория этой частицы в этой системе координат не имеет никакого шума, то вся эта система вместе взятая, по отношению ко всему остальному белому свету, дергается как сумасшедшая. Потому что она только друг с другом связана, а ко всем остальным мужчинам она относится совершенно индифферентно. Я вам показываю эксперимент с теми же самыми магнитными осцилляторами. Бог с ним, дальше пойдем. Помните, я вам говорил про этот большой спин, который там сидит? Если его поместить в магнитное поле, этот вектор будет так вращаться. Это 1000 или 500, не помню, измерений, которые следят за кончиком этого вектора. Он у меня сместился по отношению ко второму вектору, здесь один вектор, а здесь второй, я слежу за направлением этого вектора по отношению к этому вектору. Если они у меня не перепутаны, то у меня этот кружочек, они определяют ширину этого стандартного распределения, неопределенность. А если я их перепутал, то это зелененькое меньше этого красненького. Это означает, что я померил направление этого вектора по отношению к этому вектору с точностью больше, чем стандартный квантовый предел. Опубликованный материал.

Борис Долгин: Спасибо большое! Было очень интересно!

Поделиться в соцсетях:

Также читайте эксклюзивную информацию в соцсетях:

- [Телеграм](#)

- [ВКонтакте](#)

Связаться с редакцией Бабра:

newsbabr@gmail.com

Автор текста: **Артур
Скальский.**

НАПИСАТЬ ГЛАВРЕДУ:

Телеграм: [@babr24_link_bot](#)

Эл.почта: newsbabr@gmail.com

ЗАКАЗАТЬ РАССЛЕДОВАНИЕ:

эл.почта: bratska.net.net@gmail.com

КОНТАКТЫ

Бурятия и Монголия: Станислав Цырь

Телеграм: [@bur24_link_bot](#)

эл.почта: bur.babr@gmail.com

Иркутск: Анастасия Суворова

Телеграм: [@irk24_link_bot](#)

эл.почта: irkbabr24@gmail.com

Красноярск: Ирина Манская

Телеграм: [@kras24_link_bot](#)

эл.почта: krasyar.babr@gmail.com

Новосибирск: Алина Обская

Телеграм: [@nsk24_link_bot](#)

эл.почта: nsk.babr@gmail.com

Томск: Николай Ушайкин

Телеграм: [@tomsk24_link_bot](#)

эл.почта: tomsk.babr@gmail.com

[Прислать свою новость](#)

ЗАКАЗАТЬ РАЗМЕЩЕНИЕ:

Рекламная группа "Экватор"

Телеграм: [@babrobot_bot](#)

эл.почта: equatoria@gmail.com

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО:

эл.почта: babrmarket@gmail.com

[Подробнее о размещении](#)

[Отказ от ответственности](#)

[Правила перепечаток](#)

[Соглашение о франчайзинге](#)

[Что такое Бабр24](#)

[Вакансии](#)

[Статистика сайта](#)

[Архив](#)

[Календарь](#)

[Зеркала сайта](#)