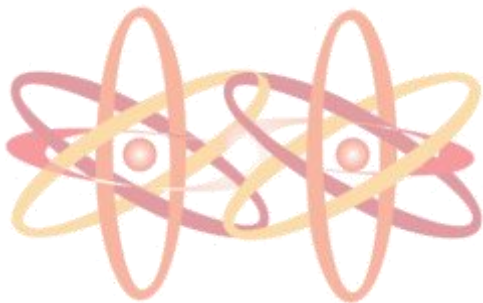




Запутанность квантовых состояний и квантовая телепортация

Анна Майорова

Центр перспективных исследований, Санкт-Петербургский
политехнический университет
Санкт-Петербургский государственный университет



13 марта 2017



Путешествие в прошлое





Физика XIX века

Волновая теория света



Thomas Young



Электродинамика и электротехника



Hans Christian Ørsted



Michael Faraday

В 1878 году Филипп Жолли посоветует молодому Макс Планку не заниматься физикой, потому что «в этой области почти всё уже открыто, и всё, что остаётся — заделать некоторые не очень важные пробелы».

Электродинамика и электротехника

Термодинамика, теория газов, теория строения вещества



Heinrich Rudolf Hertz



Wilhelm Eduard Weber



James Clerk Maxwell



William Thomson, 1st Baron Kelvin



Rudolf Julius Emanuel Clausius



Ludwig Eduard Boltzmann

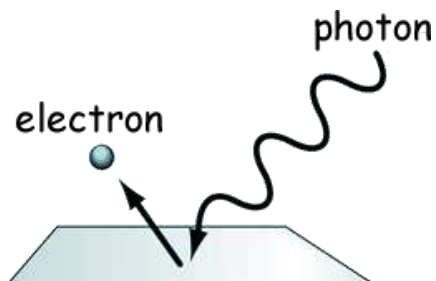
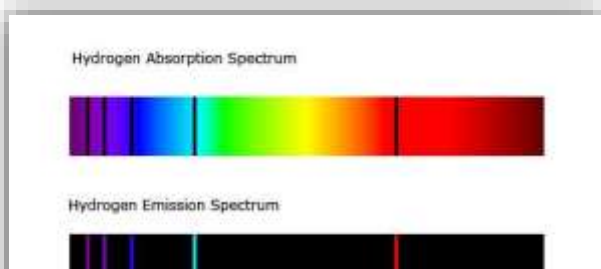


James Prescott Joule



XX век начинается

Кризис классической теории



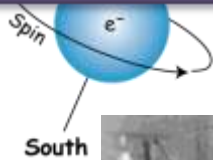
«Это целый мир, о существовании которого никто не подозревал»
Жюль Анри Пуанкаре



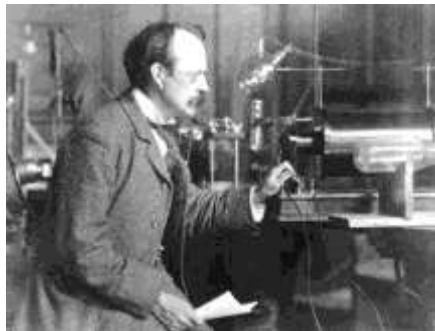
1898 г.
M. & P. Curie



1896 г.
A. H. Becquerel



J. J. Thomson



1895 г.
W.C. Röntgen





Проблема атомных спектров

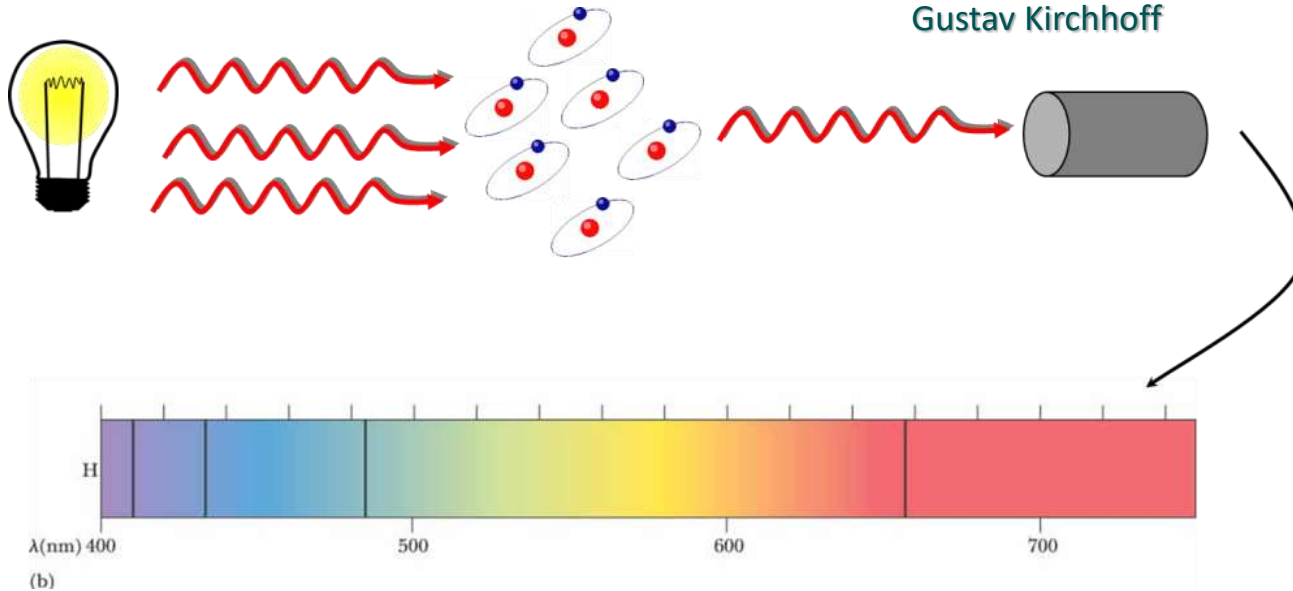
Основы современного спектрального анализа были заложены Кирхгофом и Бунзеном в 1859 году



Gustav Kirchhoff



Robert Bunsen

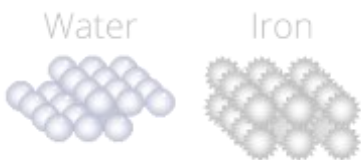
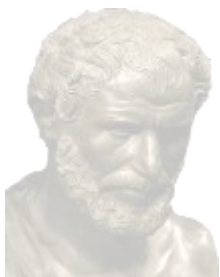


Атомы поглощают только определенные длины волн
Наличие внутренней структуры!



История атомной теории

V век до н.э.



Демокрит. «Атом» каждого вещества представляет собой что-то вроде крошечной копии этого вещества.

Аристотель – Средние века



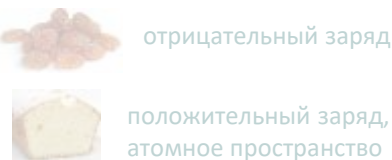
Атомистические представления забыты. Мистическое учение Аристотеля: основу мира составляют четыре начала - вода, земля, воздух и огонь.

1867



Лорд Кельвин : атомы - это вихревые частицы, вращение которых объясняет их основные свойства, по аналогии с теорией гидродинамических вихрей Г.Гельмгольца .

1904



Дж.Дж. Томсон. «Корпускулы» распределены внутри положительно заряженного облака с одинаковой по объёму плотностью заряда, подобно изюминкам в пудинге.

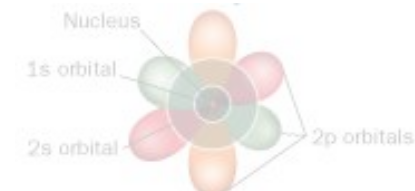
1913



$$E_n = -R_y \cdot \frac{Z^2}{n^2}$$

Боровская модель атома. Массивное положительно заряженное ядро окружено отрицательно заряженными электронами, которые движутся вокруг ядра по определенным орбитам.

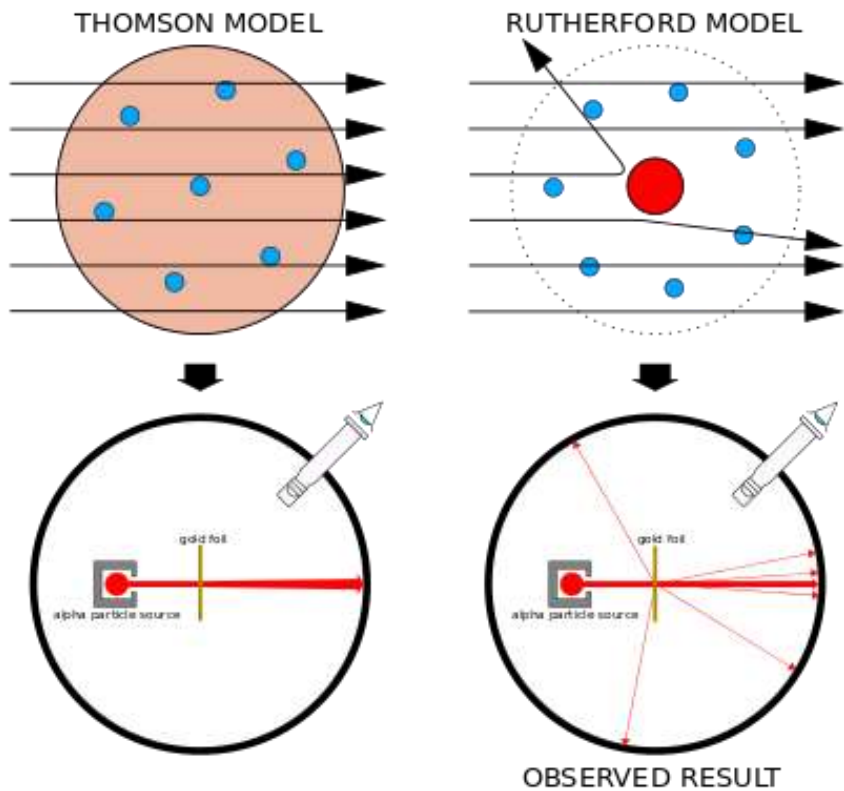
Сегодня



Современная модель атома. Расширение модели Бора-Резерфорда. Электроны представляют собой зарядовые облака—орбитали.



Эксперимент Резерфорда



По Томсону, электроны вкраплены в «сферу с однородной положительной электризацией».

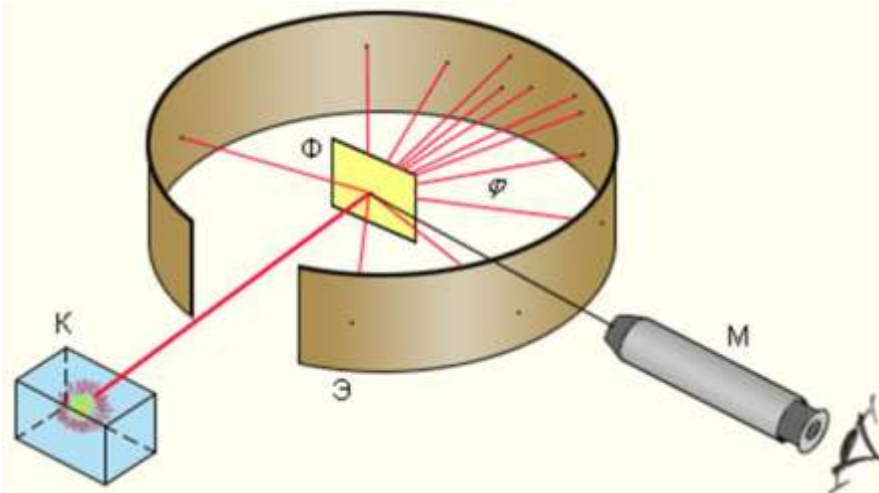
В сквозном (планетарном) атоме отрицательные электроны и пока неизвестные носители положительного заряда должны быть разведены друг от друга далеко в стороны. И в сквозном атоме должна быть массивная сердцевина, которая отбрасывает α -частицу назад!

Идея эксперимента: по углам отклонения частиц накопить достаточно информации, по которой можно было бы сказать что-либо определенное о строении атома.



Ernest Rutherford

«Внутри атома должны действовать ужасающие силы...» (Эрнест Резерфорд)





Первая реальная атомная теория

В первой четверти XX века была разработана первая квантовая теория строения атома, которую сейчас называют «старой квантовой теорией». Эта теория не была ни полной, ни последовательной, однако это был первый шаг в направлении современной атомной теории.



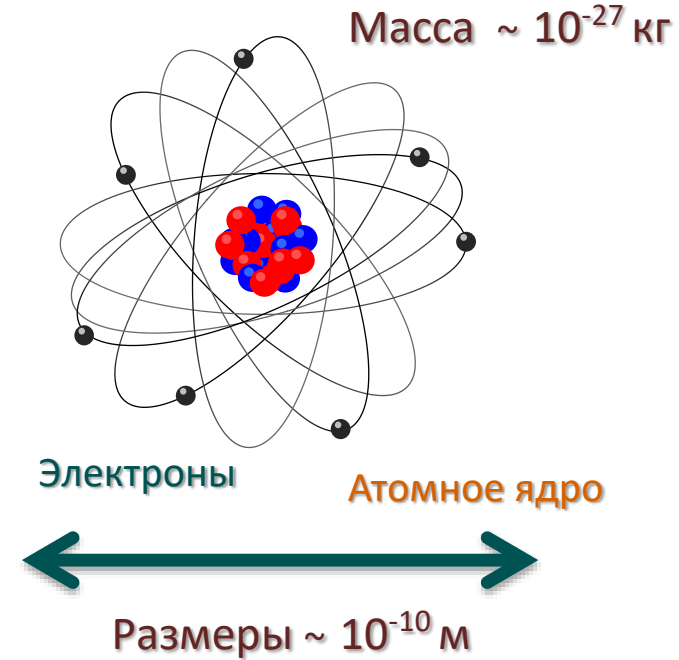
Ernest Rutherford



Niels Bohr



Arnold Sommerfeld

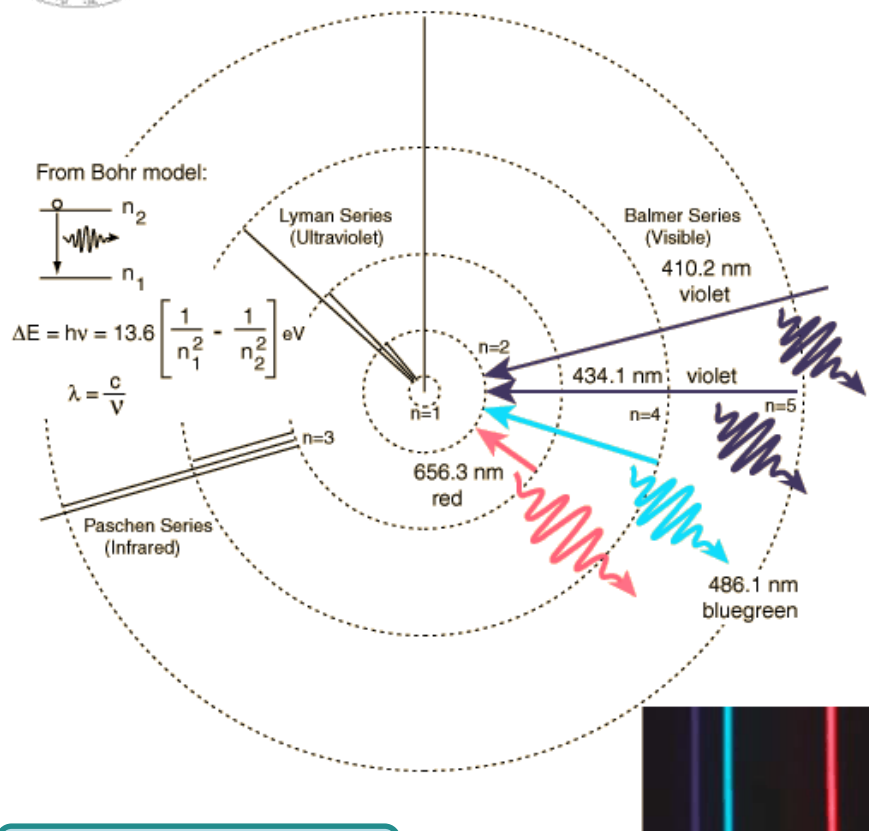


$$\oint_{\mathcal{H}(p,q)=E} p_i dq_i = n_i h,$$

Уже в 1910-х встал вопрос: как «увидеть» атом? Как с ним «общаться»?



Атом по Бору



Ernest Rutherford



Niels Bohr

Энергия электрона в атоме или ионе принимает строго определенные значения

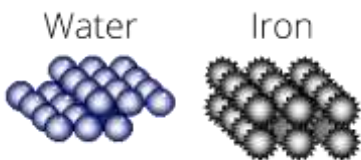
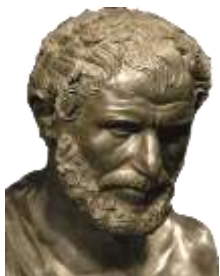
$$E_n = -R_y \cdot \frac{Z^2}{n^2}$$

Свет только определенных энергий (длин волн) может поглощаться или излучаться атомом



История атомной теории

460 до н.э.



Демокрит. «Атом» каждого вещества представляет собой что-то вроде крошечной копии этого вещества.

Аристотель – Средние века



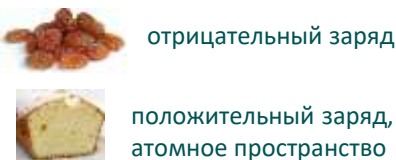
Атомистические представления забыты. Мистическое учение Аристотеля: основу мира составляют четыре начала - вода, земля, воздух и огонь.

1867



Лорд Кельвин : атомы - это вихревые частицы, вращение которых объясняет их основные свойства, по аналогии с теорией гидродинамических вихрей Г.Гельмгольца .

1904



Дж.Дж. Томсон. «Корпускулы» распределены внутри положительно заряженного облака с одинаковой по объёму плотностью заряда, подобно изюминкам в пудинге.

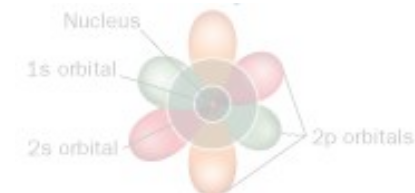
1913



$$E_n = -R_y \cdot \frac{Z^2}{n^2}$$

Боровская модель атома. Массивное положительно заряженное ядро окружено отрицательно заряженными электронами, которые движутся вокруг ядра по определенным орбитам.

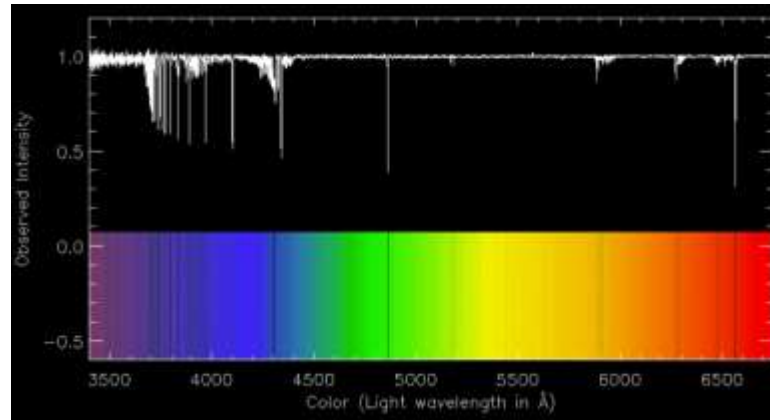
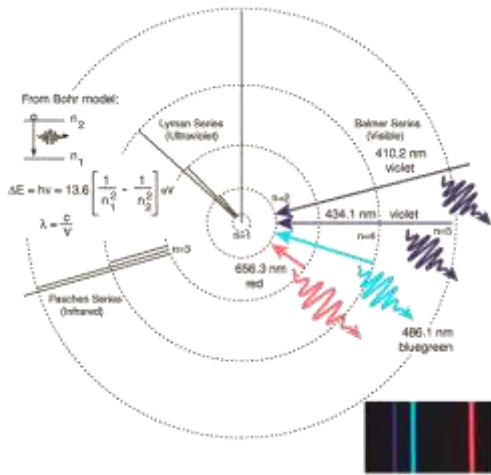
Сегодня



Современная модель атома. Расширение модели Бора-Резерфорда. Электроны представляют собой зарядовые облака—орбитали.



Проблемы первой атомной теории



Niels Bohr

- ✓ Не является ни строго квантовой, ни строго классической теорией— логически противоречива
- ✓ Справедлива только для водородоподобных атомов
- ✓ Разные линии имеют разные интенсивности

«...Мне сдается, что есть серьезный камень преткновения в Вашей гипотезе, и я не сомневаюсь, что Вы полностью сознаете это, а именно: как решает электрон — с какой частотой он должен колебаться, когда происходит переход из одного стационарного состояния в другое? Мне кажется, Вы будете вынуждены допустить, что электрон заранее знает, где он собирается остановиться». (Резерфорд—Бору)



Рождение новой теории

Проблемы старой квантовой теории привели к появлению новых подходов.

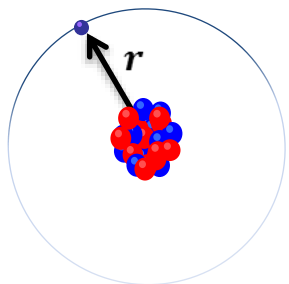
В 1926-1928 были заложены основы новой квантовой теории. Формализм волновой теории. Чтобы описать состояние системы, нужно решить волновое уравнение Шредингера.



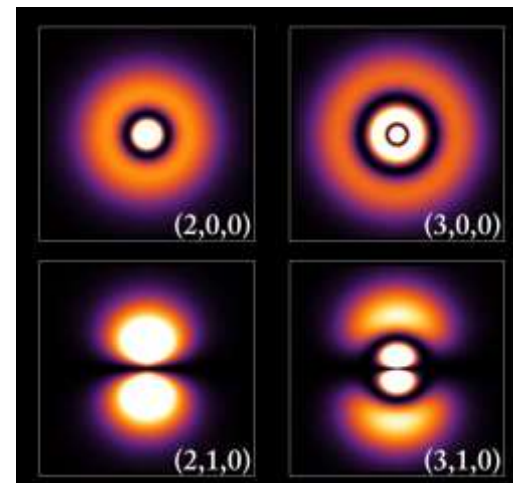
Erwin Schrödinger



Paul Dirac



Для проверки новой теории было проведено множество экспериментов. Результаты этих экспериментов влекли за собой дальнейшее развитие теории.





Самая простая интерпретация



Nathaniel David Mermin



Richard Phillips Feynman

«Shut up and calculate!»



Дисперсия волновых пакетов



Erwin Schrödinger

Что есть волновая функция?

Шредингер предположил, что частица должна представлять собой сгусток волн, размазанный в пространстве, причём плотность его в данной точке равна

$$\psi^*(\vec{r}, t)\psi(\vec{r}, t) = |\psi(\vec{r}, t)|^2$$

- недиспергирующий пакет
- настоящий пакет



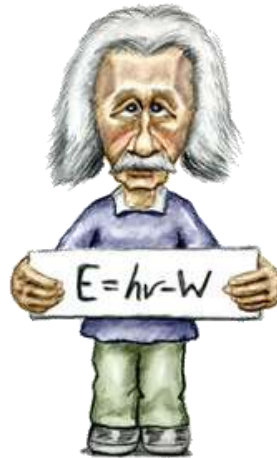
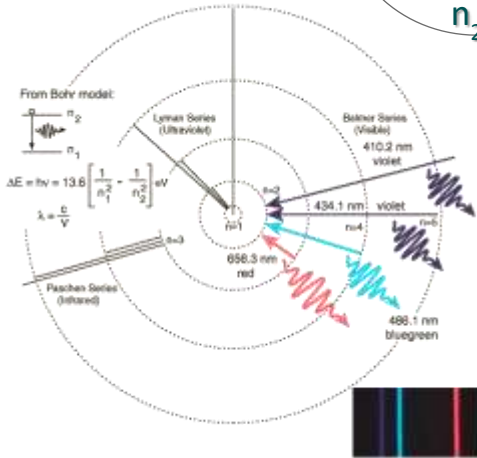
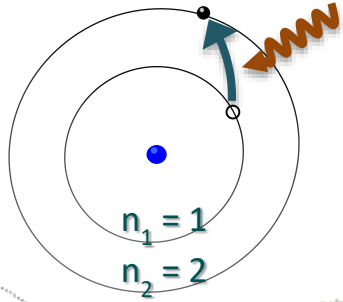
Но... Теория предсказывала, что волновые пакеты, «построенные» из волновой функции, расползаются. Из них нельзя смастерить долговечную материю.

Но что же описывает тогда волновая функция?



Проблема физической интерпретации

Что есть волновая функция?



$$\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + U\psi = -i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}$$



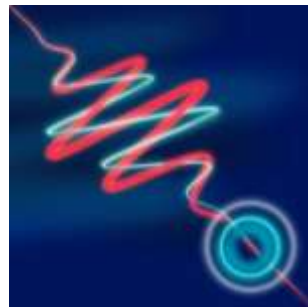
Max Born

Возникла философская проблема интерпретации

Копенгагенская концепция

$\Psi(\vec{r}, t)$
Волновая функция

$|\Psi|^2$
Вероятность

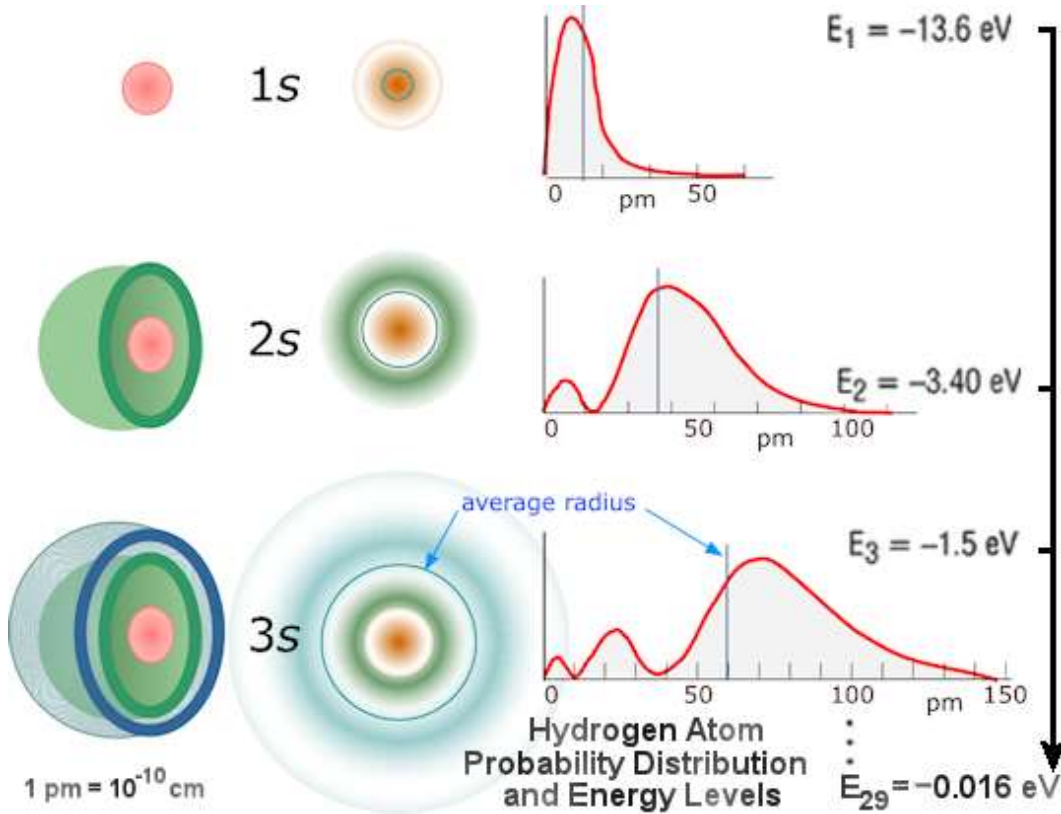
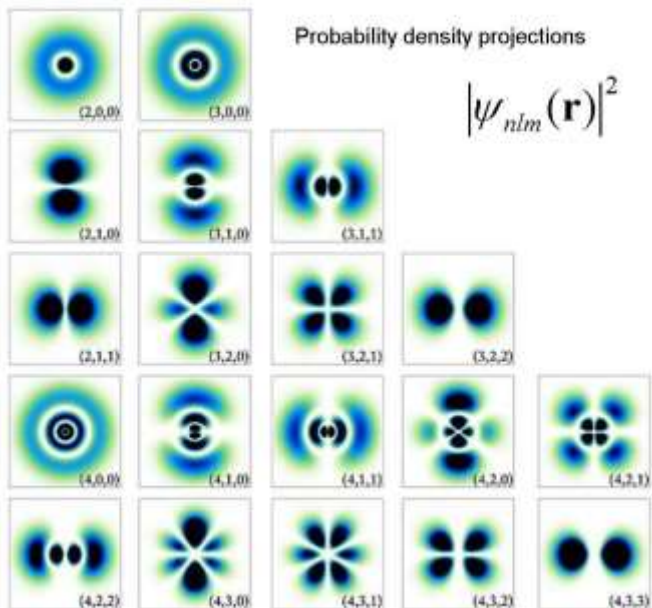
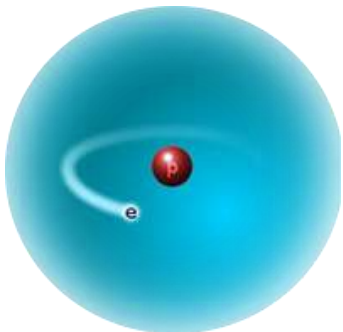


Мы живем в вероятностном мире!



Что такое волновая функция?

Атом водорода



$\Psi(\vec{r}, t)$	$ \Psi ^2$
Волновая функция	Вероятность



5 конгресс Сольвея (1927)



SOLVAY CONFERENCE 1927

colorized by piximcolour.com

A. PICARD E. HENRIOT P. EHRENFEST Ed. HERSEN TH. DE DONDER E. SCHRÖDINGER E. VERSCHAFFELT W. PAULI W. HEISENBERG R.H. FOWLER L. BRILLOUIN
 P. DEBYE M. KNUDSEN W.L. BRAGG H.A. KRAMERS P.A.M. DIRAC A.H. COMPTON L. de BROGLIE M. BORN N. BOHR
 L. LANGMUIR M. PLANCK Mme CURIE H.A. LORENTZ A. EINSTEIN P. LANGEVIN Ch.E. GUYE C.T.R. WILSON O.W. RICHARDSON
 Absent: Sir W.H. BRAGG, H. DESLANDRES et E. VAN AUBEL

«Электроны и фотоны»

Попытка спасти детерминизм



«Бог не играет в кости»



«Представление о явлениях, которое я хочу себе составить, должно быть совершенно... определенным. Для меня электрон — это частица, которая в каждый данный момент находится в определенной точке пространства. И если электрон сталкивается с атомом, проникает в него и после многочисленных приключений покидает этот атом, то я... представляю себе некоторую линию, по которой электрон двигался в атоме.»

Hendrik Antoon Lorentz



Спор Эйнштейна с Бором



Копенгагенская концепция

$$\Psi(\vec{r}, t)$$

Волновая функция

$$|\Psi|^2$$

Вероятность

«Но, право же, не наша печаль – предписывать Господу Богу, как ему следовало бы управлять этим миром!» (Н. Бор)

«Дискуссии обычно начинались уже ранним утром с того, что Эйнштейн за завтраком предлагал нам новый мысленный эксперимент... Естественно, мы тотчас принимались за анализ... И, как правило, вечером во время совместного ужина Нильс Бор уже с успехом доказывал Эйнштейну, что даже и это новейшее его построение не может поколебать соотношение неопределенностей. Беспокойство охватывало Эйнштейна, но на следующее утро у него бывал готов к началу завтрака еще один мысленный эксперимент — более сложный, чем предыдущий, и уж на сей-то раз, как полагал он, неопровержимо демонстрирующий всю несостоятельность принципа неопределенности. Однако к вечеру и эта попытка оказывалась не более успешной, чем прежние ...» (В. Гейзенберг)



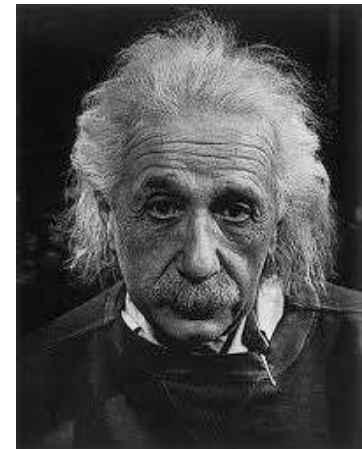
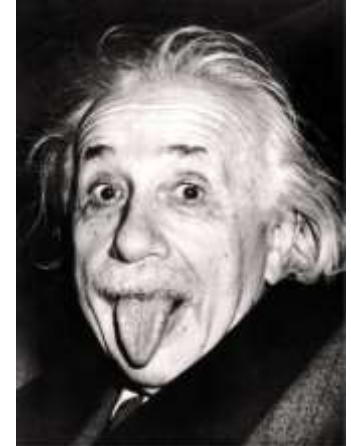
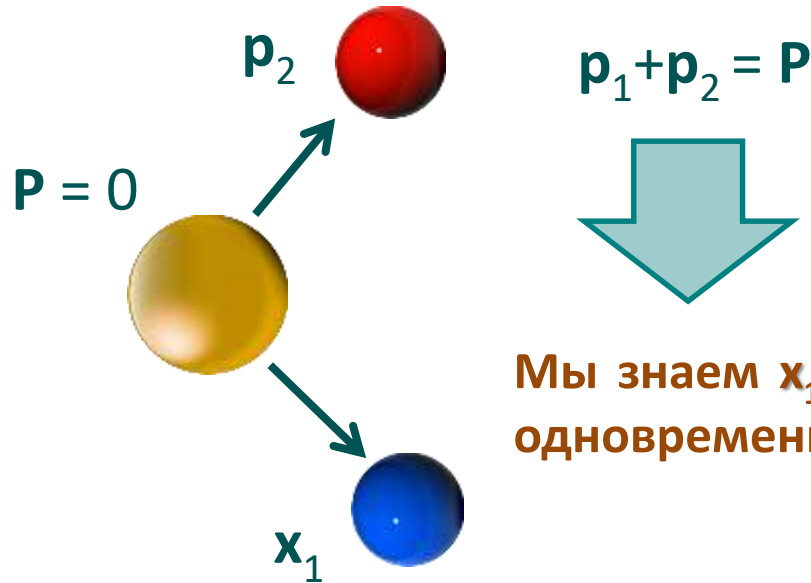
Gedankenexperiment

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$



Werner Karl Heisenberg

Соотношение неопределенности – одна из причин спора Бора с Эйнштейном



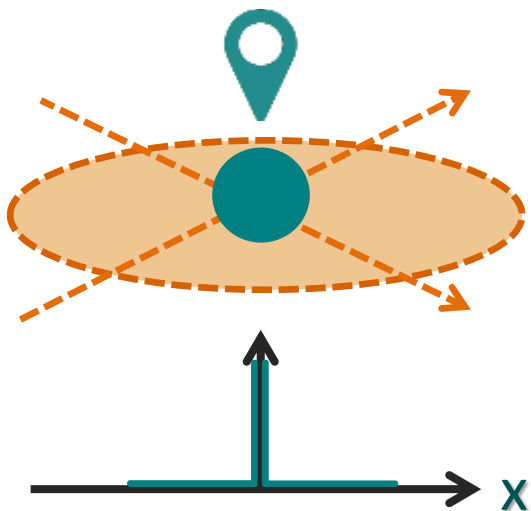
Так было бы, если бы имели дело с *корпускулами*. Однако в квантовом мире частицы обладают свойствами не только корпускул, но и волн.



Корпускулярно-волновой дуализм

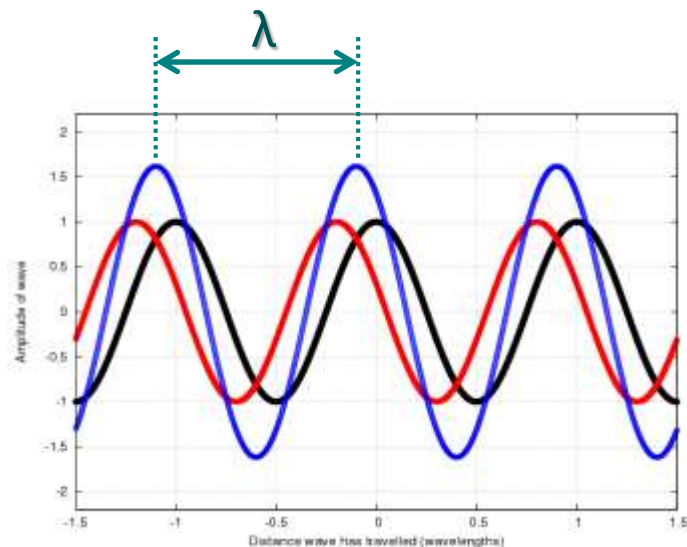


Частица

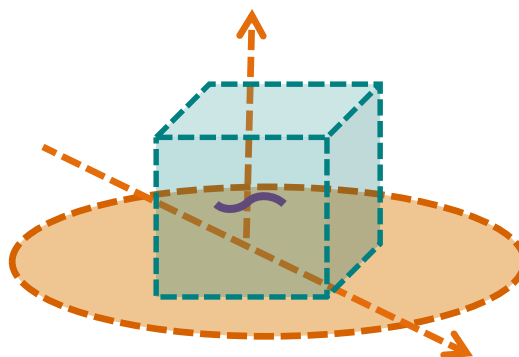


x
 $p - ?$

Волна



Волна - частица



p
 $x - ?$

$\Delta p, \Delta x$

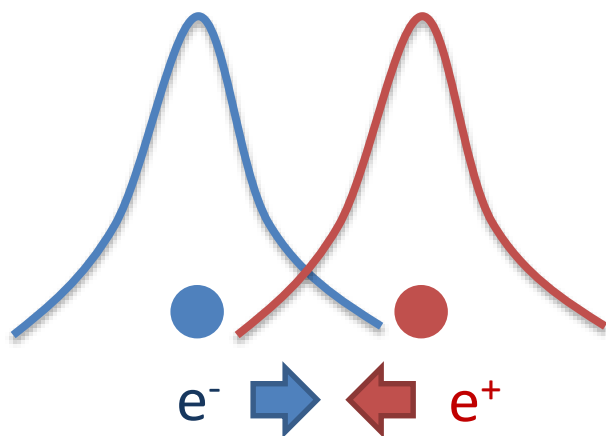


Проблемы вероятностной интерпретации

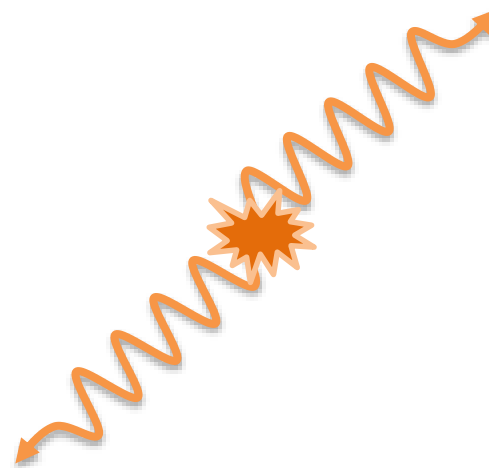


К 30-м годам XX века квантовая механика как практический инструмент объяснила почти всю (на тот момент) атомную физику, продвинула вперед физику твердого тела (кроме, разве что сверхпроводимости), молекулярную физику, ядерную физику и предсказала много нового. Однако....

Коллапс волновой функции



До аннигиляции

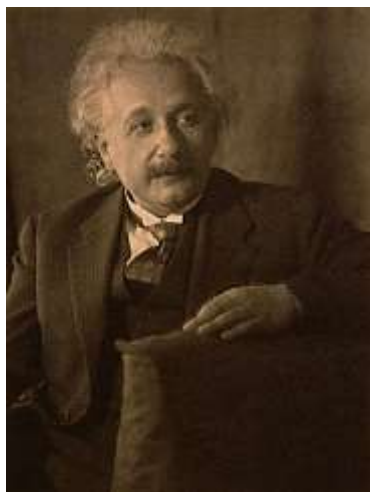


После аннигиляции

- ✓ Волновая функция «схлопывается» мгновенно, быстрее скорости света
- ✓ Квантовая запутанность



«Но Сатана не долго ждал реванша...»



Albert Einstein



Борис Подольский



Nathan Rosen

«Пришел Эйнштейн—и стало все как раньше!»



“God doesn’t play dice with the Universe” (A. Einstein)

MAY 15, 1935

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 47

Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?

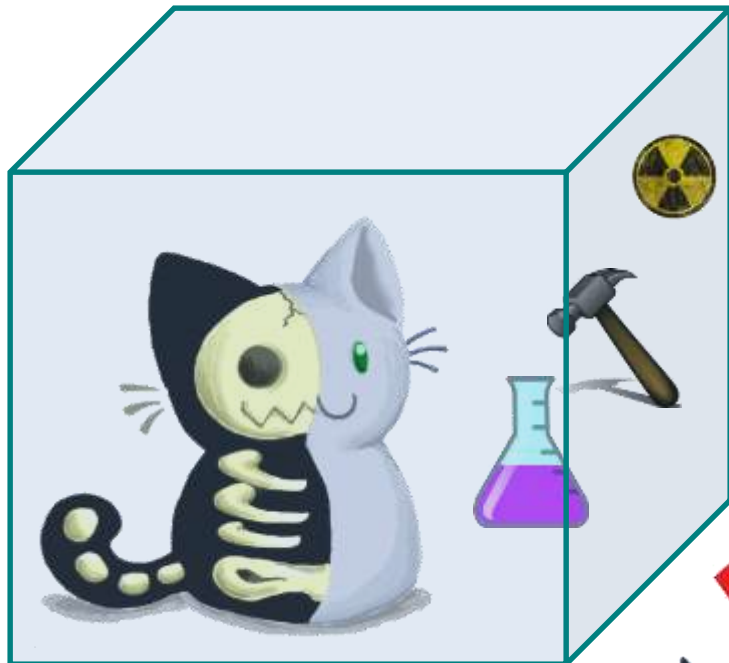
A. EINSTEIN, B. PODOLSKY AND N. ROSEN, *Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey*

(Received March 25, 1935)

Можно ли считать квантово-механическое описание физической реальности полным?

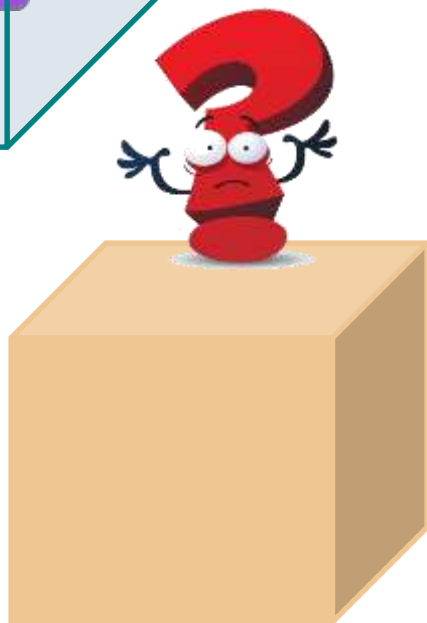


Суперпозиция состояний. Кот Шредингера



Квантовая суперпозиция это суперпозиция взаимоисключающих состояний

$$\frac{1}{\sqrt{2}}|\text{живого кота}\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|\text{мертвого кота}\rangle$$



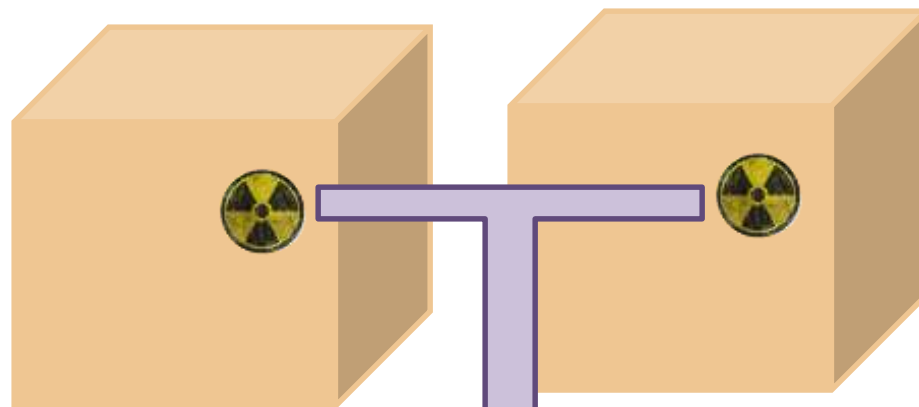


Белловское состояние

$$\frac{1}{\sqrt{2}} |\text{black cat}\rangle |\text{orange cat}\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} |\text{orange cat}\rangle |\text{black cat}\rangle$$

$$|\text{black cat}\rangle \longleftrightarrow 1$$

$$|\text{orange cat}\rangle \longleftrightarrow 0$$



$$\Psi^+ = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle_A \otimes |1\rangle_B + |1\rangle_A \otimes |0\rangle_B)$$

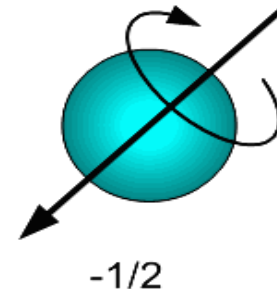
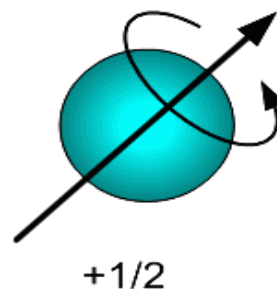
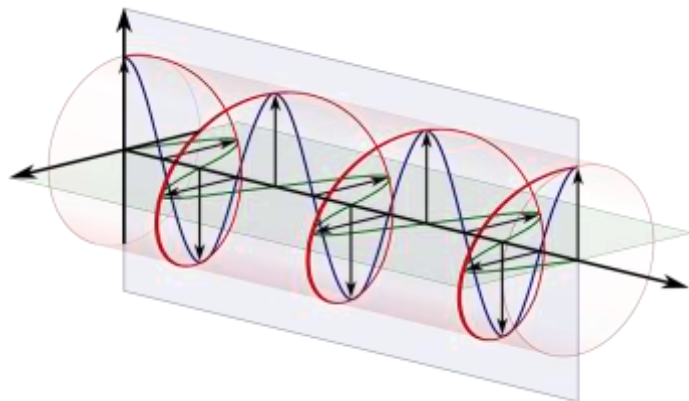
Запутывать котов не очень удобно. Удобнее работать с элементарными частицами.



Что же мы запутываем?

фотоны

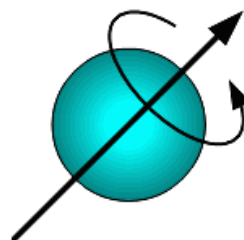
электроны



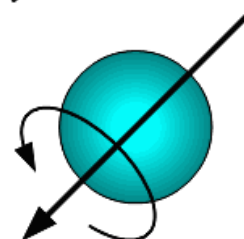
$$\lambda = \pm 1$$

$$S = \pm \frac{1}{2}$$

Entangled state
Запутанное состояние



1



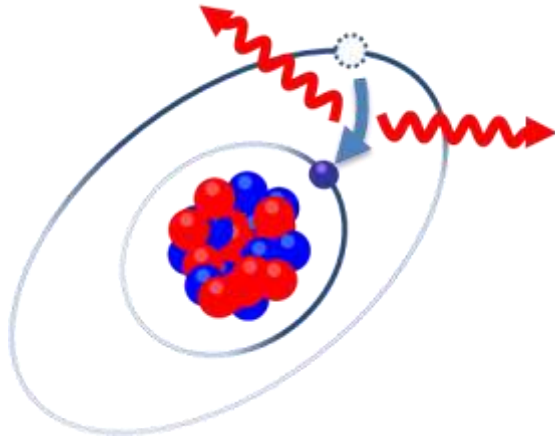
0



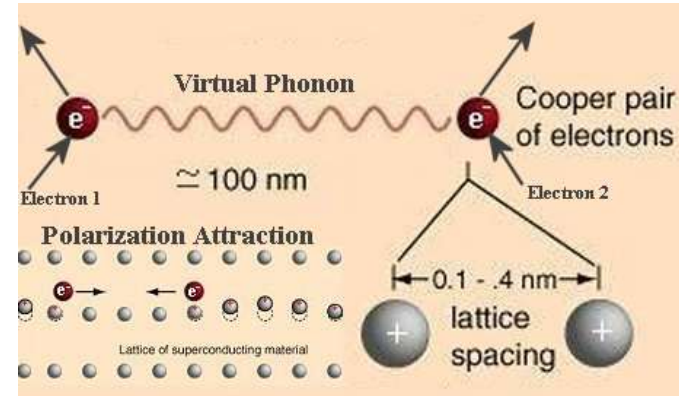
И для фотонов и для электронов запутывается их поляризация!



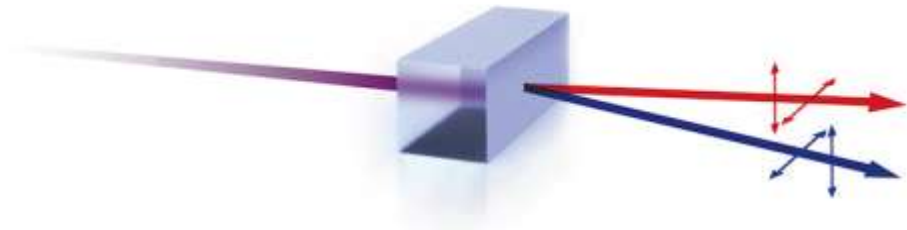
Как мы запутываем частицы?



Многие атомные процессы ведут к излучению пар запутанных частиц (аннигиляция позитрония, двух-фотонный распад атомов...)



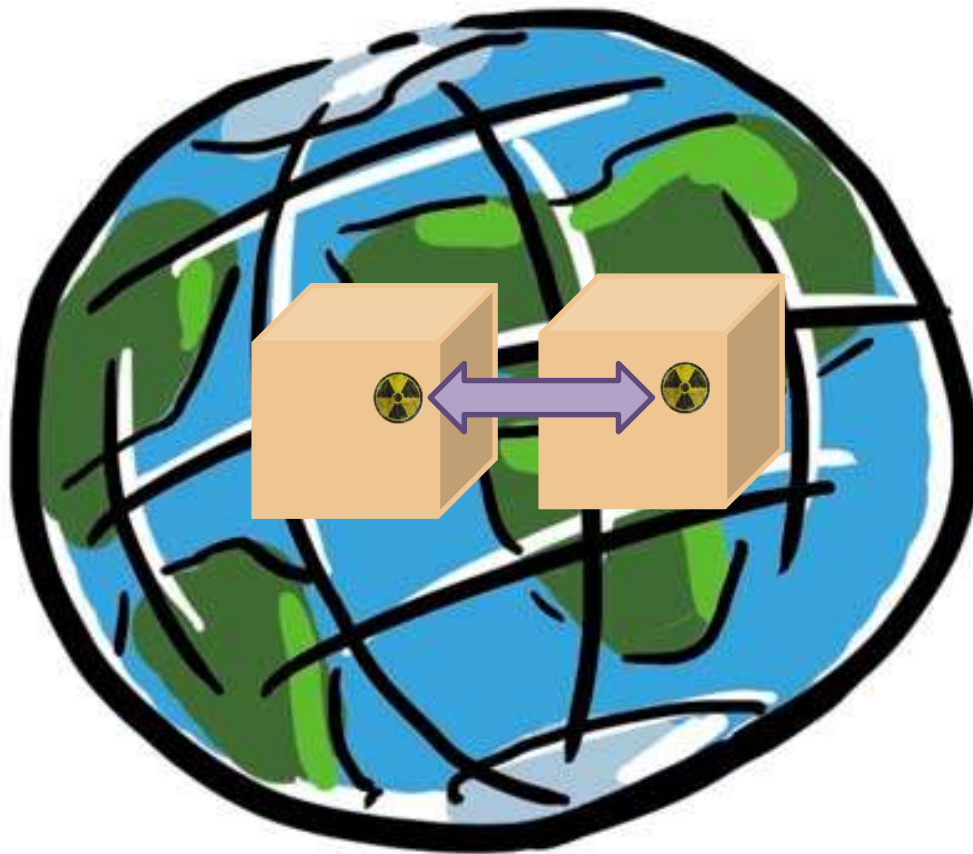
Запутанные электроны производятся из "куперовских пар" в сверхпроводниках



В квантовой оптике запутанные фотоны производятся в процессе параметрического рассеяния в кристаллах



ЭПР парадокс



$$\frac{1}{\sqrt{2}} |\text{black cat}\rangle |\text{orange cat}\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} |\text{orange cat}\rangle |\text{black cat}\rangle$$



ЭПР парадокс

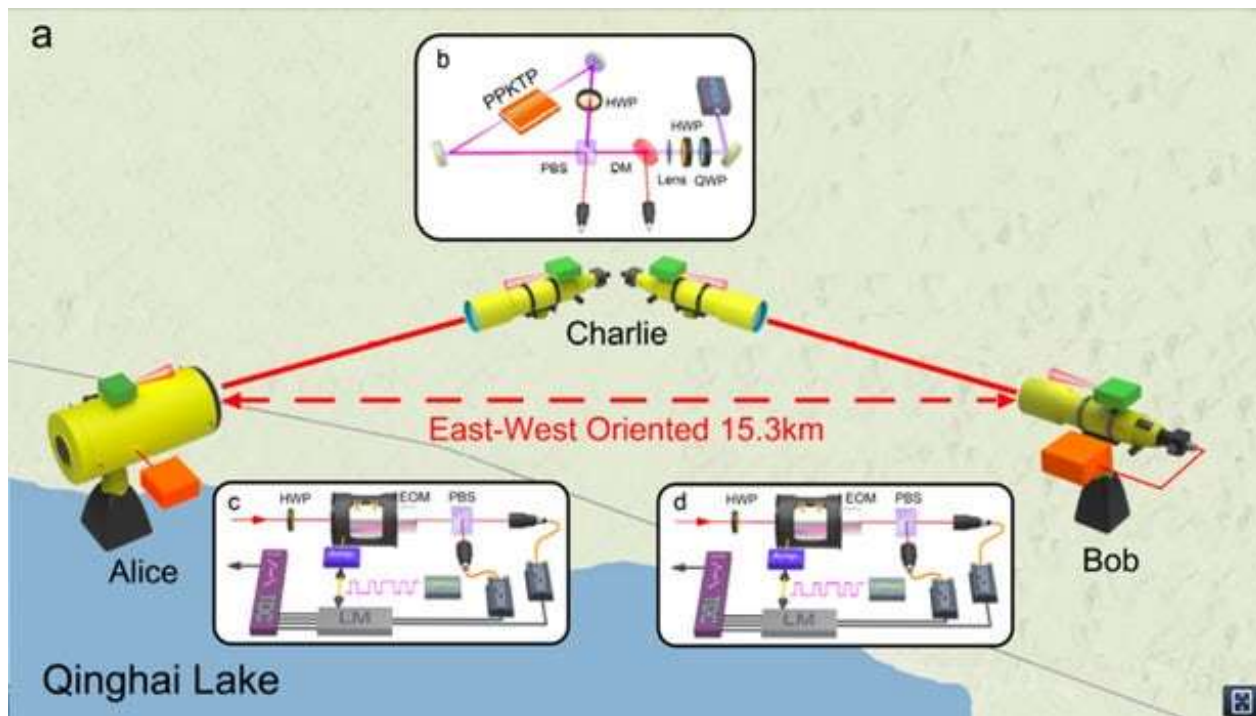


Квантовые корреляции
одна из фундаментальных
черт микромира



ЭПР парадокс

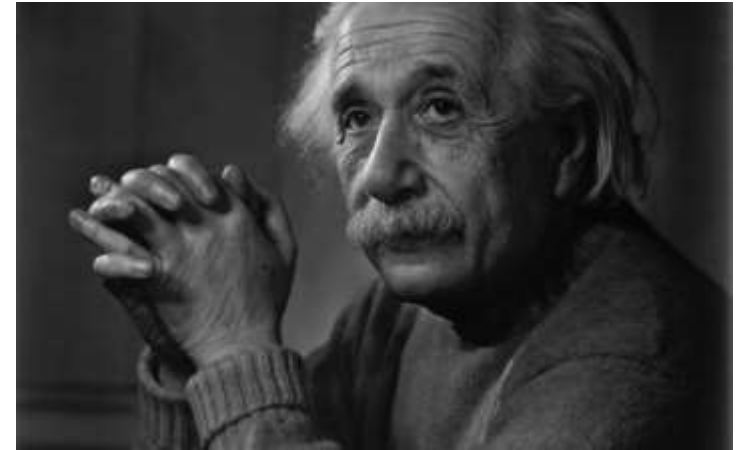
Конечно, в современной физике эксперименты делаются не с котами в ящиках...



Типичный эксперимент с запутанными фотонами, проведённый группой профессора Уин (Juan Yin) из университета Шанхая, показал что "запутанное взаимодействие" как минимум в 10000 быстрее скорости света!



Теория скрытых параметров



REALITY

Квантовая механика не полна!
Мы просто чего-то не знаем!



Что было дальше?

Почти 30 лет парадокс ЭПР оставался «игрушкой для ума»



John Stewart Bell

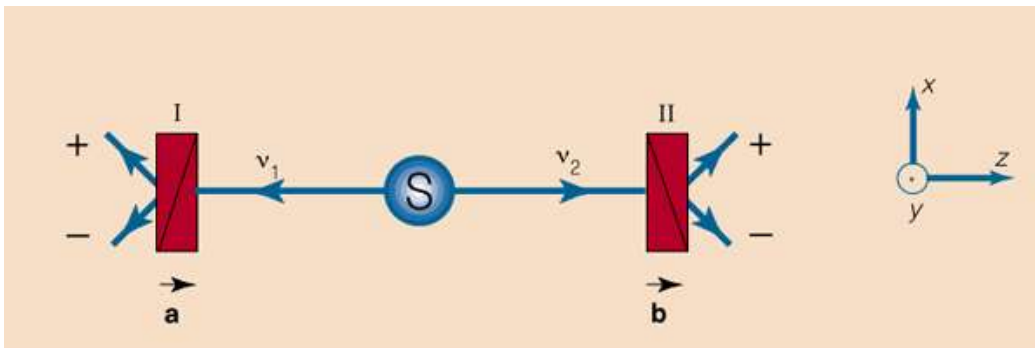
• 1964 г. Неравенства Белла

Неравенства, которые можно проверить на эксперименте. Если они выполняются, то, возможно, Эйнштейн был прав, но если **не** выполняются, то Эйнштейн точно ошибался! Тестирование гипотезы скрытых параметров.



Еще один перерыв—задача только для «адептов»

• 1982 г. Один из первых экспериментов. Опыт Аллена Аспе



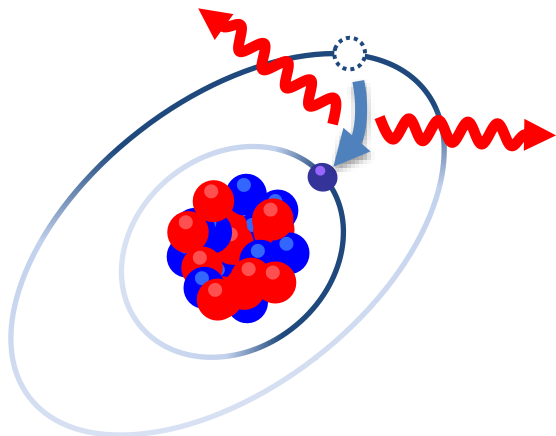
Alain Aspect



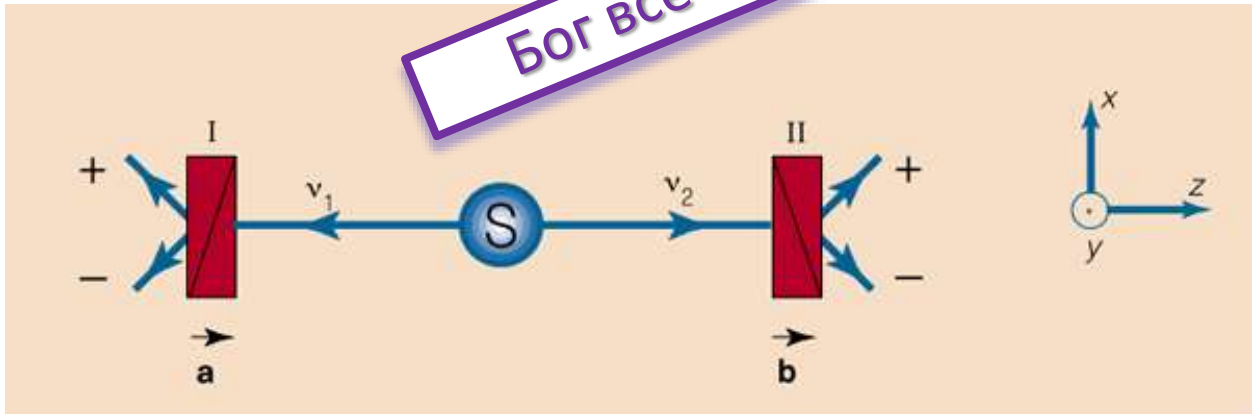
Опыт Алена Аспе



Двухфотонный распад



Бог все-таки играет в кости!



Два фотона ν_1 и ν_2 анализируются линейными поляризаторами с ориентациями a и b . Можно измерять вероятности одиночной или совместной регистрации на выходе каналов поляризаторов.



Почему так долго?



- **Надо «оперировать» отдельными когерентными частицами.**



Serge Haroche

Нобелевская премия по физике 2012 г.:
«За создание прорывных технологий манипулирования квантовыми системами, которые сделали возможными измерение отдельных квантовых систем и управление ими»



David Jeffrey Wineland

- **Надо развести частицы на большие расстояния, не потревожив их.**

Нужны идеальные условия— «глубокий» вакуум, отсутствие электромагнитных полей, т.е. нужна очень высокая степень изоляции. Электрон— «не лучший кандидат». Удобнее использовать для эксперимента фотоны. Особенно фотоны в оптоволокне.



Зачем?



- **Квантовая криптография. Создание абсолютно защищенного канала связи**
- Передача и обработка гигантских массивов данных
- Создание квантового компьютера
- Банковские операции
- Квантовые радары
- Метрология

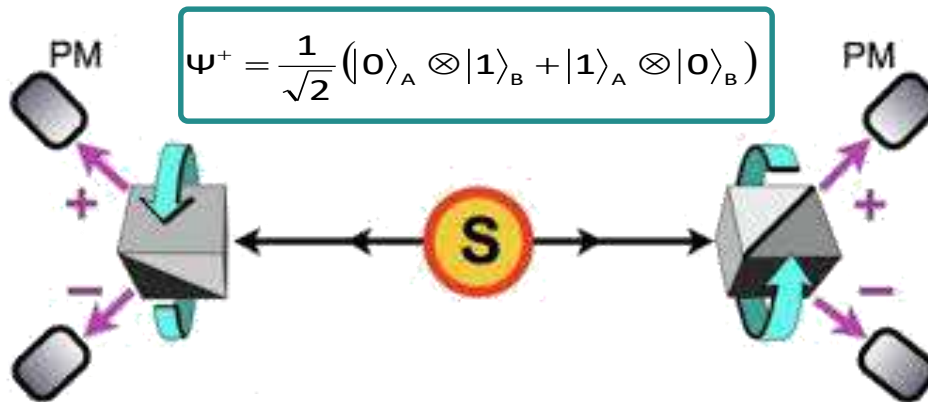


Простейшая квантовая телепортация

Квантовая телепортация—это передача информации!



Alice



Bob

Алиса хочет передать: 1011

Алиса измеряет первой (это важно!):

- 1) При первом измерении у Алисы 0, тогда Боб получает 1—то, что нужно!
- 2) При втором измерении у Алисы 0, тогда Боб получает 1—то, что **не** нужно!

Что делать?

Алиса у себя получила: 0010

Тогда Боб получил: 1101

Использовать классический канал связи!



Алиса звонит Бобу и говорит:
И-л-л-и (или шифрует через 0 и 1)



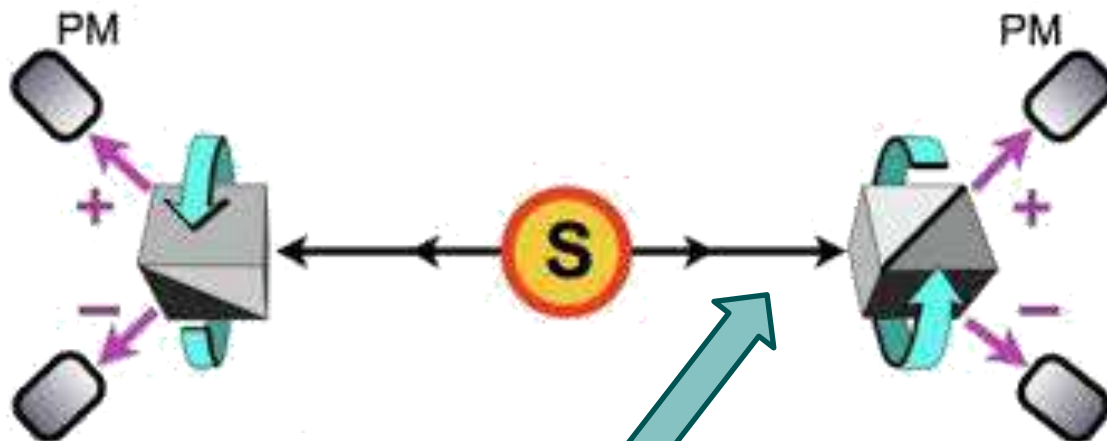
Безопасность



Появление шпиона



Alice



Bob

Информация «классического канала» бесп...

Полностью защищенный канал связи



Eva

...попытке «подключиться» к квантовому каналу—то есть проведение измерения— частицы «разрушаются». Исчезновение видно Алисе и Бобу!



Как это было?



- **1993 г. Первый протокол квантовой телепортации [1].**
- **1997 г. Группа Антона Цалингера, г. Инсбрук, Австрия. Телепортация квантового состояния фотона «со стола на стол»—1 м!**
- **2007 г. Телепортация квантового состояния фотона на 144 км— между двумя Канарскими островами (эксперименты в открытом воздухе)^[3].**
- **2015 г. Телепортация квантового состояния фотона на 100 км в оптоволокне [4].**

[1] C. H. Bennett, G. Brassard, C. Crépeau, R. Jozsa, A. Peres, W. K. Wootters, Phys. Rev. Lett. **70**, 1895-1899 (1993).

[2] D. Bouwmeester, J.-W. Pan, K. Mattle, M. Eibl, H. Weinfurter, A. Zeilinger, Nature **390**, 575-579 (1997).

[3] X.-S. Ma, T. Herbst, T. Scheidl, D. Wang, S. Kropatschek, W. Naylor, B. Wittmann, A. Mech, J. Kofler, E. Anisimova, V. Makarov, T. Jennewein, R. Ursin, A. Zeilinger, Nature **486**, 269-273 (2012).

[4] H. Takesue, S. D. Dyer, M. J. Stevens, V. Verma, R. P. Mirin, and S. W. Nam, Optica **2**, 832-835 (2015).



Зачем?



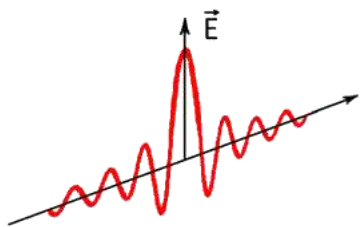
- Квантовая криптография. Создание абсолютно защищенного канала связи
- **Передача и обработка гигантских массивов данных**
- Создание квантового компьютера
- Банковские операции
- Квантовые радары
- Метрология



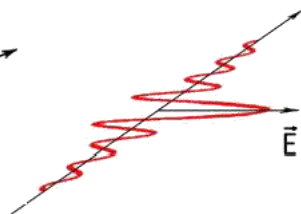
Объем передаваемой информации

«Классический» спин

Поляризация или спин



[0]



[1]



[0]



[1]

«Классический спин» — выбор одного из двух. Обычный бит.

Реальный (квантовый) спин

В общем случае состояние спина частицы:

Кубит
Q-bit

$$\alpha \uparrow + \beta \downarrow$$

α — любое число (в общем случае комплексное!), удовлетворяющее условию

Пример:

$$\alpha = 0.54378213895\dots$$

Это гигантский объем информации!

$$0 \leq |\alpha|^2 \leq 1$$

$$|\alpha|^2 = 1 - |\beta|^2$$



Трудности

Q-бит

$$\alpha \uparrow + \beta \downarrow$$

$$\alpha = 0.54378213895\dots$$

$$\alpha = 0.54378213883\dots$$

Как устройствам различить близкие состояния?

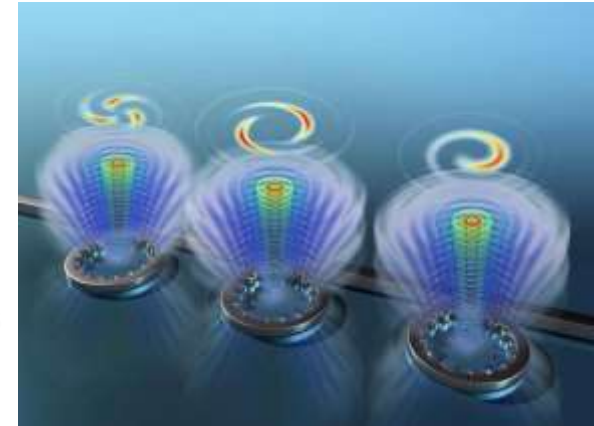
Очень высокие требования на допустимый уровень шумов и на сами устройства!

Закрученный свет

Вместо поляризации—угловой орбитальный момент. Выбор не из двух состояний, а из бесконечного множества. Информационная емкость намного больше!

Но состояния с разной закрученностью (в отличие от поляризации) начинают на больших расстояниях перемешиваться друг с другом!

В 2014 группа А. Цалингера предложила схему, которая позволяет обойти эту проблему.





Зачем?



- Квантовая криптография. Создание абсолютно защищенного канала связи
- Передача и обработка гигантских массивов данных
- **Создание квантового компьютера**
- Банковские операции
- Квантовые радары
- Метрология



Квантовые компьютеры



Квантовый компьютер – вычислительное устройство, которое оперирует Q-битами.

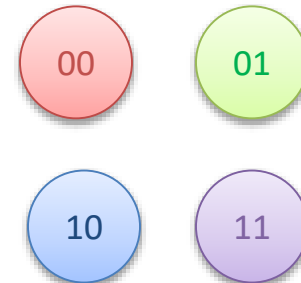
В чем преимущество квантовых компьютеров?
Рассмотрим двухбитные классический и квантовый компьютеры

- ✓ Классический: 00, 01, 10, 11 (четыре состояния)
- ✓ Квантовый : $a|00\rangle + b|01\rangle + c|10\rangle + d|11\rangle$ (четыре состояния в «одном»)

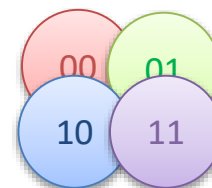


Двух-Q-битный квантовый компьютер задействует одновременно 4 классических состояния!

Классический компьютер:
оперирует с одним из
четырёх состояний



Квантовый компьютер:
оперирует с суперпозицией
из четырёх состояний



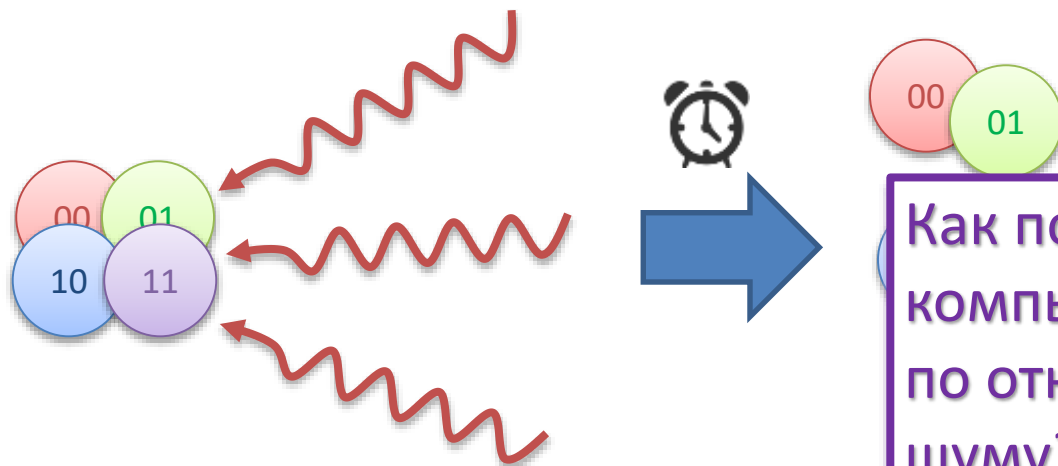
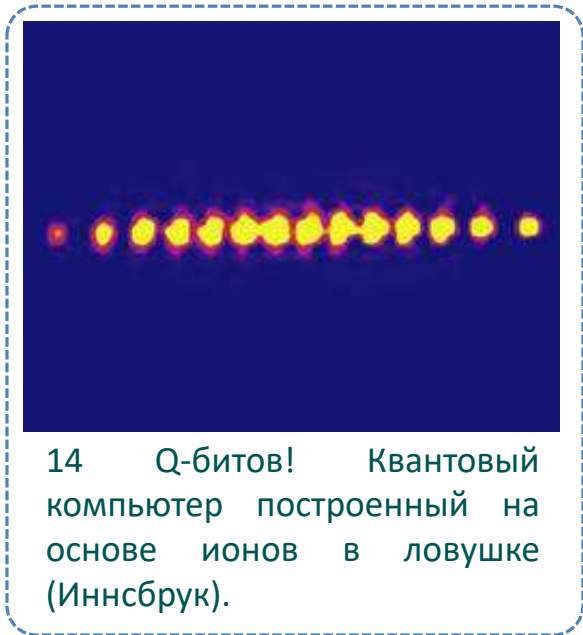


Квантовые компьютеры

Чем больше Q-битов тем лучше! Для N Q-битов квантовый компьютер работает одновременно с 2^N классическими состояниями!!!

Почему же современные квантовые компьютеры по прежнему работают с малым числом Q-битов?

Главная проблема: внешние воздействия могут разрушить квантовую систему или внести в неё искажения!



Как построить квантовый компьютер «устойчивый» по отношению к внешнему шуму? Запутанность!!!

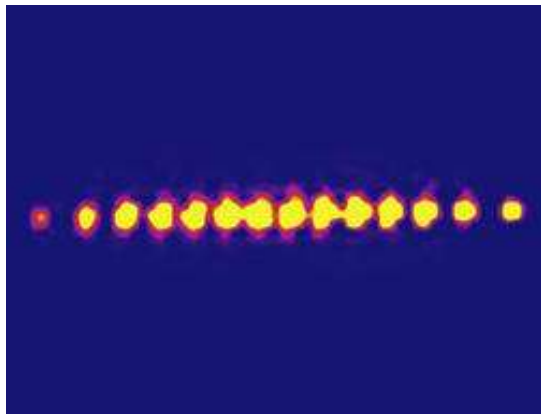


Квантовые компьютеры

Чем больше Q-битов тем лучше! Для N Q-битов квантовый компьютер работает одновременно с 2^N классическими состояниями!!!

Почему же современные квантовые компьютеры по прежнему работают с малым числом Q-битов?

Главная проблема: внешние воздействия могут разрушить квантовую систему или внести в неё искажения!



14 Q-битов! Квантовый компьютер построенный на основе ионов в ловушке (Иннсбрук).

Недавно группа учёных из Инженерной школы в университете Токио показала что можно запутывать до миллиона (!!!) Q-битов.

«Существует проблема продолжительности жизни кубитов для обработки квантовой информации. Мы решили эту проблему и теперь можем продолжать обработку квантовой информации за любой период времени.» (Акира Фурусава, ведущий исследователь)



Зачем?



- Квантовая криптография. Создание абсолютно защищенного канала связи
- Передача и обработка гигантских массивов данных
- Создание квантового компьютера
- Банковские операции
- Квантовые радары
- **Метрология**



Запутанность и квантовая метрология



- ✓ Квантовая запутанность используется также в метрологии.
- ✓ Что такое метрология? Это наука о точных измерениях!
- ✓ Как мы можем увеличить точность измерений?

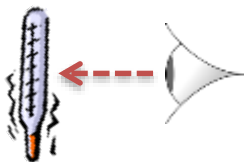
Измерения в классическом мире



Готовим измерительный прибор



Взаимодействие прибора и системы

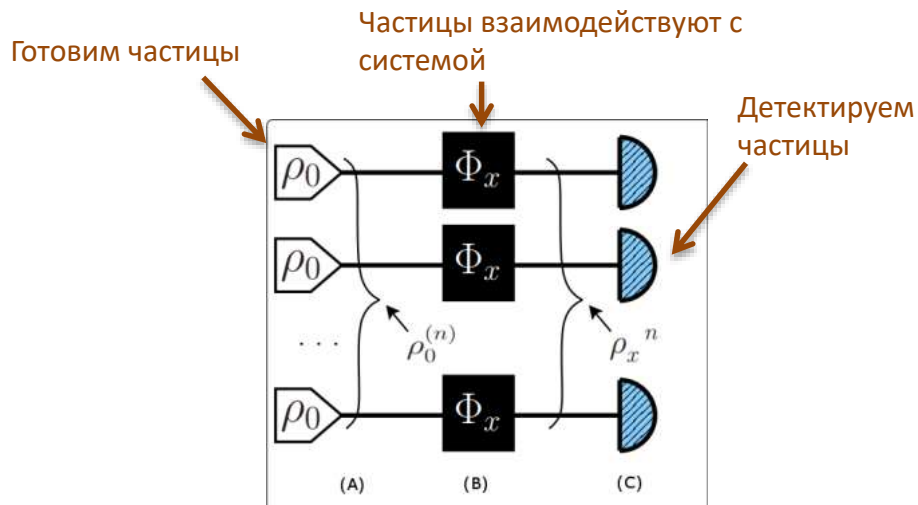


Считываем показание прибора

... и повторяем весь процесс максимально большое количество раз

Измерения в квантовом мире

В квантовом мире мы используем квантовые частицы (фотоны, электроны) чтобы произвести измерение.



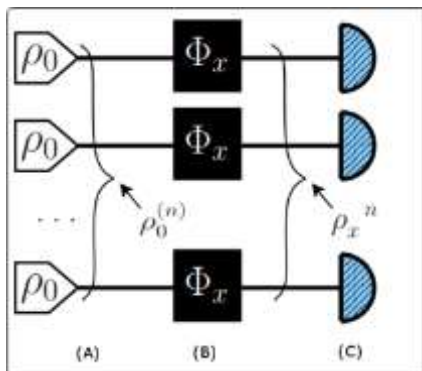


Запутанность и квантовая метрология

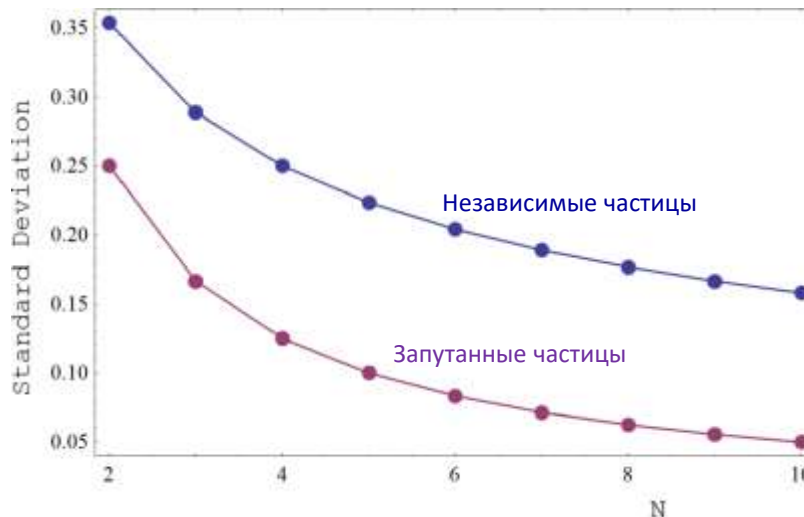
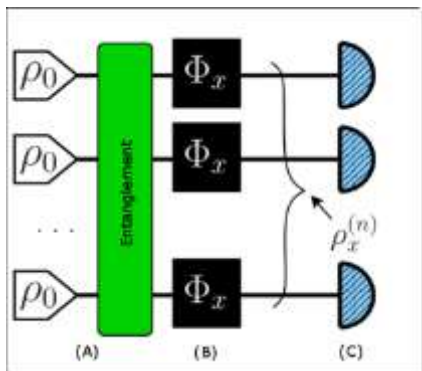


- ✓ Как запутанность может помочь увеличить точность измерений в квантовом мире?
- ✓ Рассмотрим два случая: в качестве «измерительных приборов» мы используем M независимых частиц и M запутанных частиц. В каком случае ошибка измерений будет меньше?

M независимых частиц



M запутанных частиц



Среднеквадратическое отклонение:

Независимые частицы $\sigma \propto 1/\sqrt{N}$

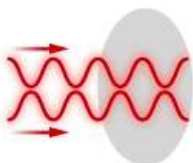
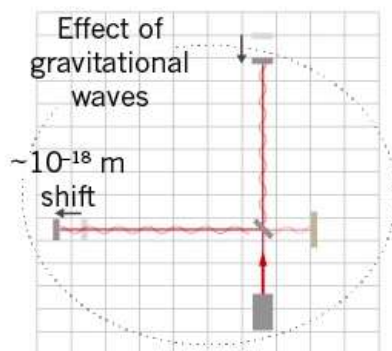
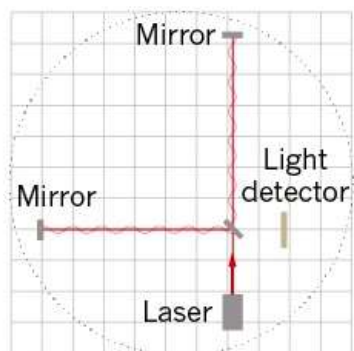
Запутанные частицы $\sigma \propto 1/N$



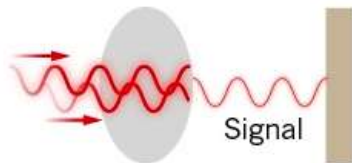
Запутанность и квантовая метрология



- ✓ Методы квантовой метрологии, основанной на использовании запутанности, используются для проектирования новых детекторов гравитационных волн.



Detector



- ✓ В современных гравитационных детекторах, например, возникает необходимость измерять сдвиг зеркал интерферометра на расстояние около 10^{-18} метра, в то время как сами зеркала находятся на расстоянии 4 километра друг от друга.



Зачем?

- Квантовая криптография защищенного канала
- Передача и обработка информации
- Создание квантового интернета
- Банковские операции
- Квантовые радары
- Метрология

КИТАЙ ПОСТРОИТ НОВУЮ КВАНТОВУЮ КОММУНИКАЦИОННУЮ ЛИНИЮ

Ноябрь 2016

Китай планирует к концу 2017 года построить новую квантовую коммуникационную линию длиной более 300 километров, пишет газета [China Daily](#) со ссылкой на китайскую аэрокосмическую компанию (CASIC).



Фото с сайта news.rambler.ru



Август 2016

Китайцы объявили о создании квантового радара





Спасибо за внимание!

