



$$\Psi_{\text{kitty}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Psi_{\text{alive}} + \frac{1}{\sqrt{2}} \Psi_{\text{dead}}$$

ЛЕКЦИЯ

Квантовые состояния

Итак, в неклассической версии ЕНКМ:

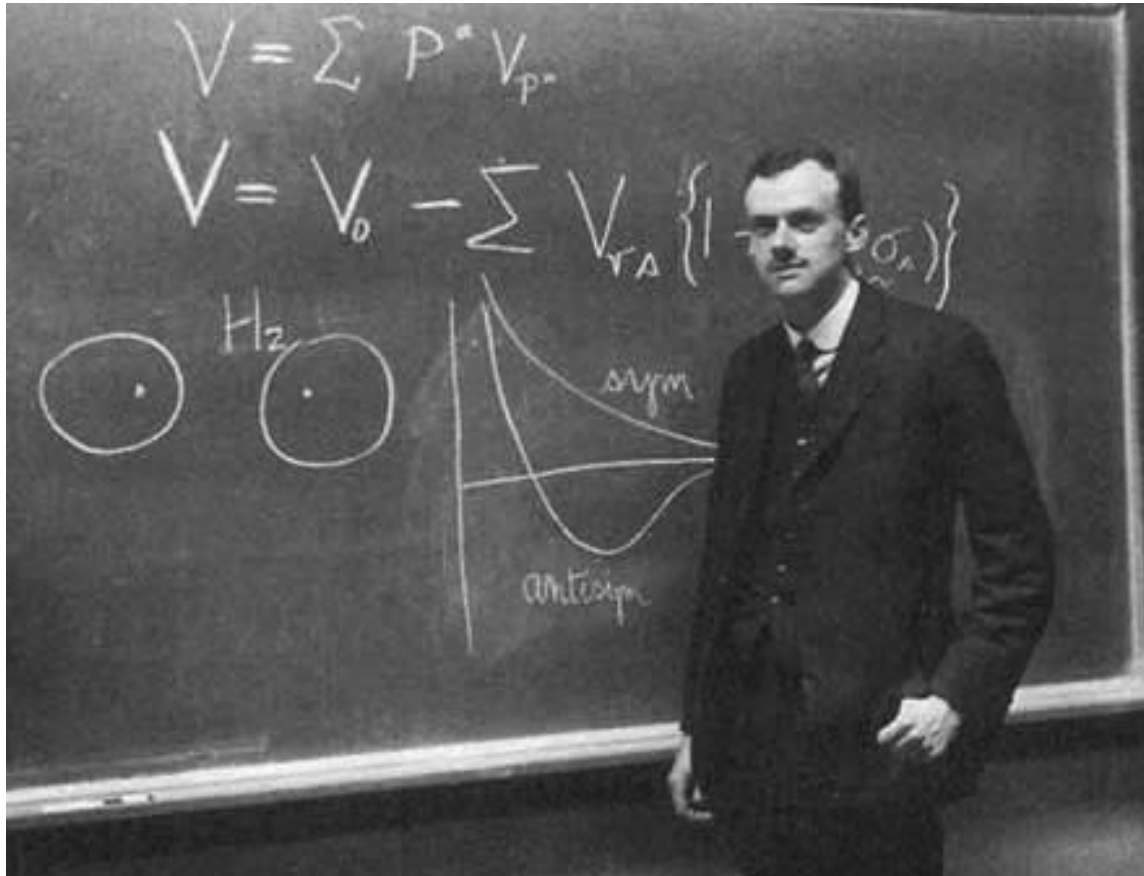
учет **стохастических воздействий** и
вызываемых ими **флуктуаций**
требует использования
вероятностного описания природы.
Это означает отказ от детерминистского
взгляда на природу, который несовместим
с понятием случайности.

• **Квантовые состояния**
«холодное окружение»

$$T=0$$

**В этих условиях объект
называется квантоном**

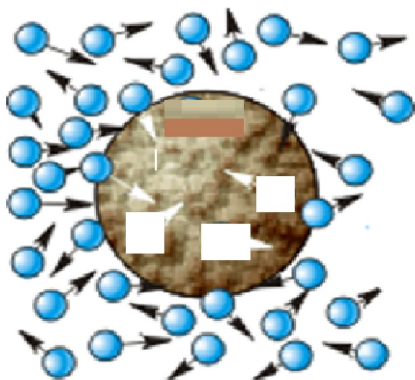
**П.А.-М. Дирак (1902-1984) -основатель
современных квантовых идей
Нобелевская премия 1934 г.**



В неклассической ЕНКМ исходят из того, что под влиянием стохастического воздействия все характеристики объекта являются случайными.

При описании квантовых явлений нельзя использовать модель изолированного объекта, как это делается в классике. Термин «свободный объект» следует понимать только как отсутствие регулярного воздействия сил и полей.

Так чем же обусловлено квантовое воздействие, если при $T=0$ тепловое движение в окружении объекта полностью заморожено, нет столкновений с молекулами окружения и никаких внешних сил?



Но отсутствие молекул вещества еще не означает полную пустоту. В этом случае объект окружён физическим вакуумом. Это огромный резервуар, заполненный океаном виртуальных частиц, обладающих энергией и импульсом.

При $T=0$ вакуум беспорядочно воздействует на объект, вызывая при этом флуктуации его характеристик и особенности поведения. Если не учитывать стохастическое воздействие вакуума, то невозможно объяснить, откуда же тогда берутся все те «чудесные» свойства, которые "вдруг" проявляет объект, ни с чем не взаимодействующий в привычном классическом смысле.

**Определяющая роль стохастического
воздействия в поведении квантона,
или о странностях квантона по
сравнению с классическими
частицами**

Они обнаруживают очень «необычное» поведение

Быть может, эти электроны –
Миры, где пять материков,
Искусства, знания, войны, троны
И память сорока веков.
Еще, быть может, каждый атом –
Вселенная, где сто планет;
Там все, что здесь, в объеме сжатом,
Но также то, чего здесь нет....

В. Брюсов. Мир ЭЛЕКТРОНА.

Собр.соч. в 7-и тт. Т. 3. С. 172.

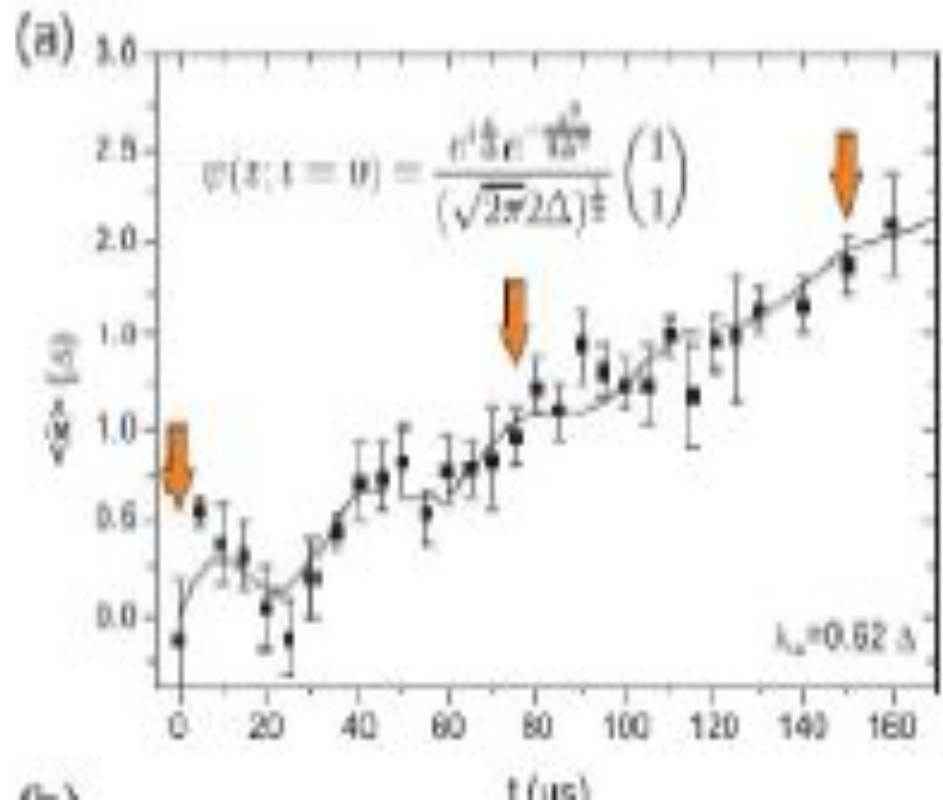
М.: Худ. лит., 1974.

Пример необычного поведения свободного электрона, описываемого моделью квантона

Свободная электрон в классическом подходе должен двигаться равномерно и прямолинейно, т. е. с постоянной скоростью $V=const$, что соответствует линейной зависимости координаты от времени $x=Vt$. График этой зависимости – прямая линия.

Однако при скоростях, сравнимых со скоростью света, его скорость перестает быть константой. Она начинает быстро флуктуировать вокруг среднего значения с частотой приблизительно $1,6 \cdot 10^{21}$ Гц.

В этих условиях наблюдаются также флуктуации координаты (на рисунке показаны отклонения от прямой линии $x=Vt$). Это говорит о том, что модель свободной частицы к электрону здесь неприменима. Теперь это квантон, т.к. он реагирует на стохастическое квантовое воздействие вакуума.



Данный эффект называется Zitterbewegung ([нем.](#) *Zitterbewegung* — «дрожащее движение») —

ПОВЕДЕНИЕ КЛАССИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА (не испытывает стохастического воздействия)

КУДА ПОЛЕТИТ МЯЧ?

**ОН ЛИБО ПРОЛЕТИТ НАД
ВОРОТАМИ, ЛИБО БУДЕТ
ЗАБИТ ГОЛ**

**ПРОЛЕТАЯ ВЫШЕ ВОРОТ,
МЯЧ НЕ «ОЩУЩАЕТ» ИХ.**

**ПОПАДАЯ В ВОРОТА, МЯЧ
МОЖЕТ ОТРАЗИТЬСЯ ОТ
СЕТКИ, НО НЕ МОЖЕТ
ОКАЗАТЬСЯ ЗА ПРЕДЕЛАМИ
ПОЛЯ**



КЛАССИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ

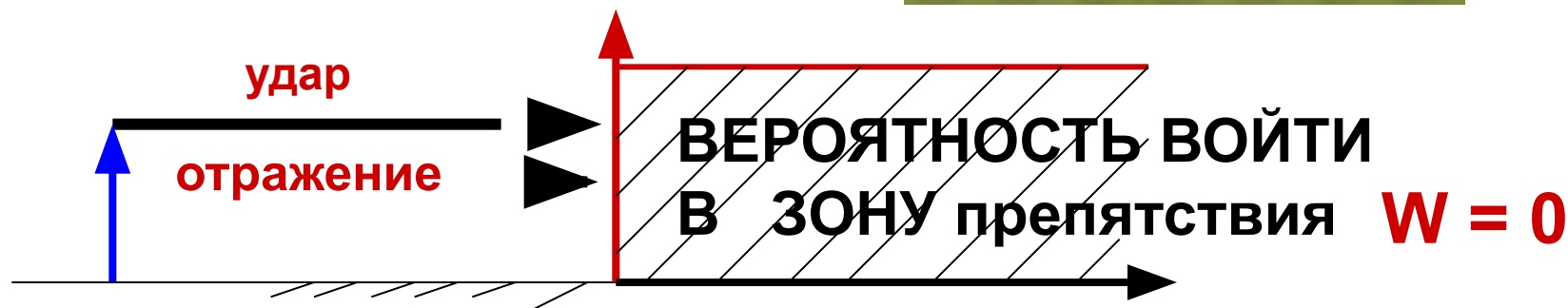
(нет стохастического воздействия)

При удачной подаче теннисный мяч **пролетает над сеткой, не замечая ее**, и оказывается в зоне соперника.



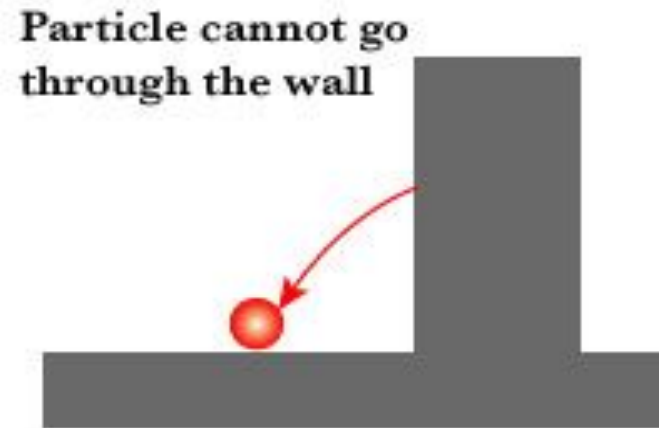
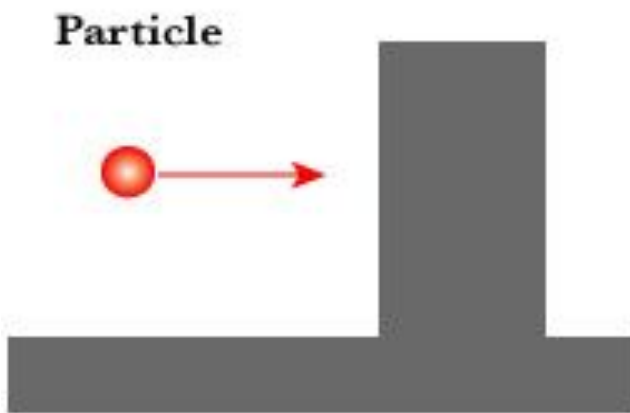
Любой классический объект преодолет препятствие, если он обладает достаточной энергией

Неудачная подача
ВЫСОТА 2 –мяч
отражается от сетки

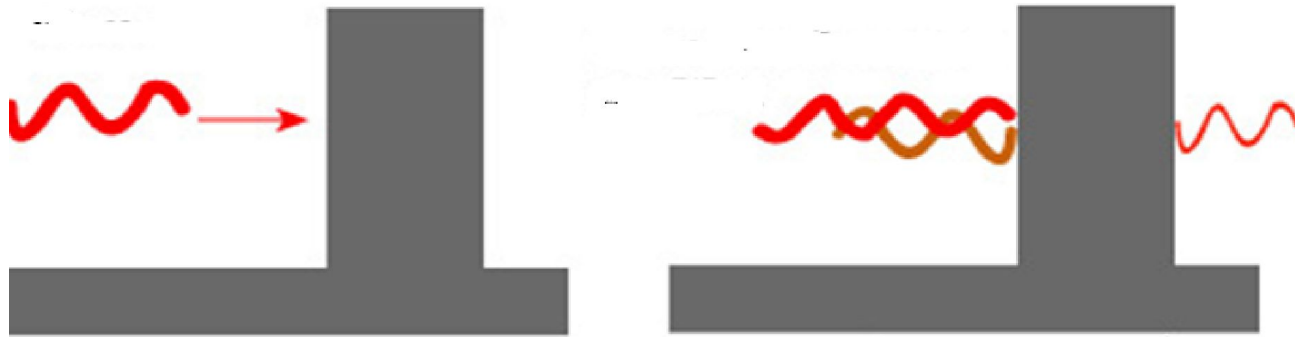


**За препятствием – запрещенная зона для
теннисного мяча, посланного с низкой
подачи!**

Классическое поведение частиц и макрообъектов – они «не могут пройти сквозь стену»

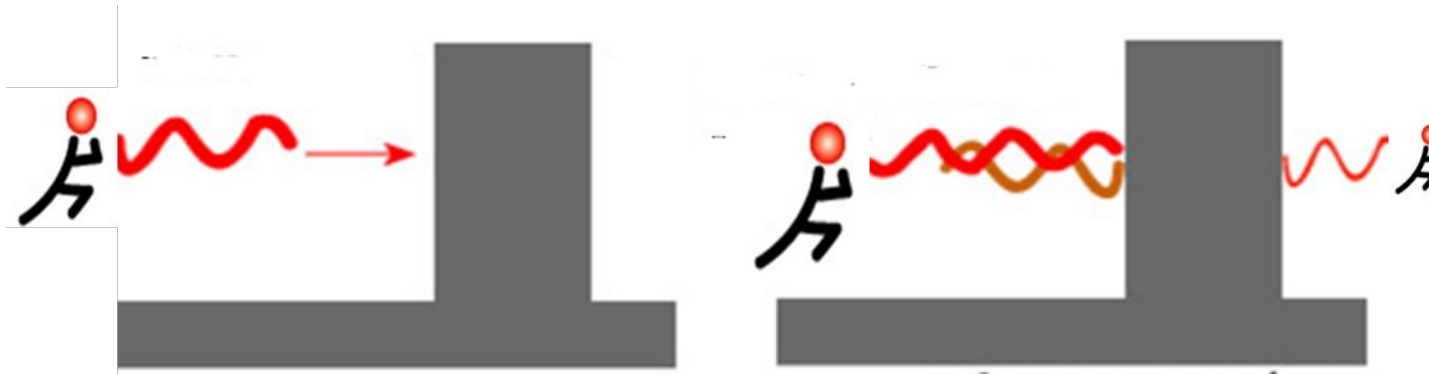


Однако волна может пройти через препятствие, частично отразившись на входной границе (солнечный свет через стекло проникает в комнату)



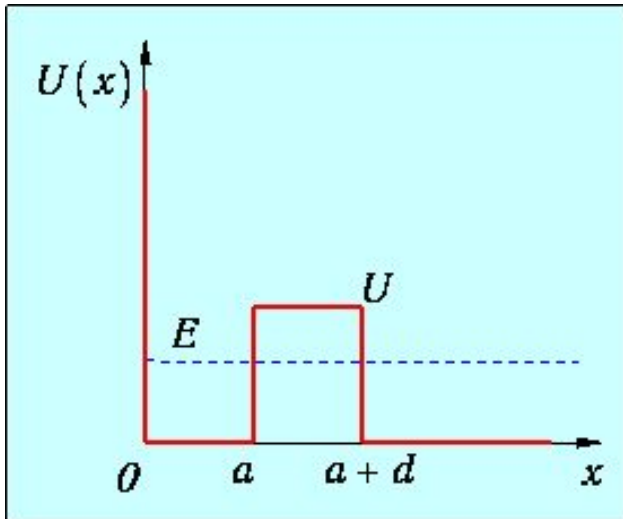
Классические частицы и волны при встрече с препятствием ведут себя по-разному

При встрече с препятствием квантон способен подобно волне частично отразиться, а частично оказаться в зоне за препятствием.



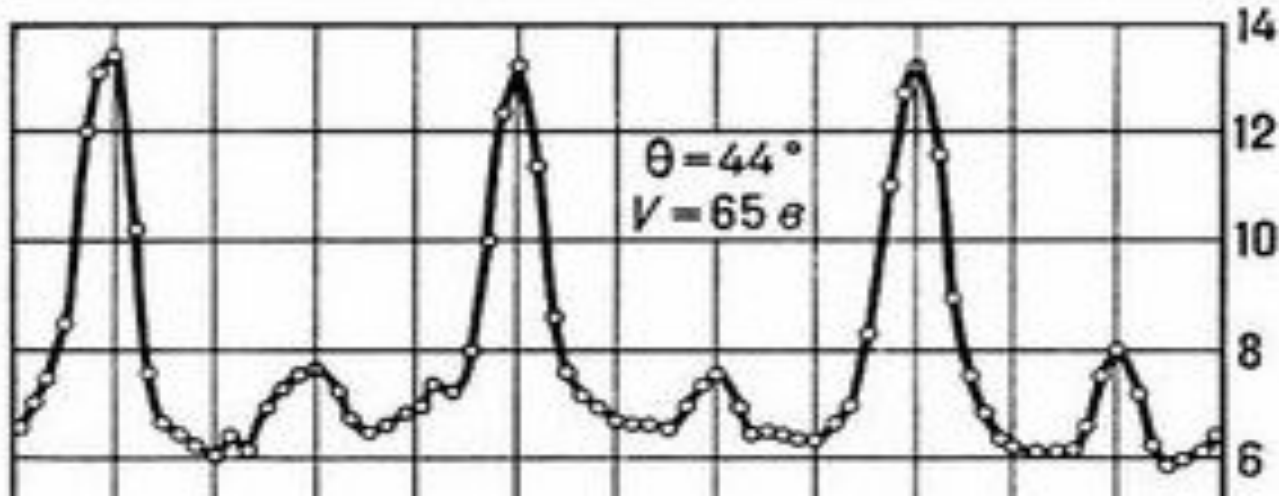
Такое поведение, существенно отличает квантон от классической частицы. Его можно связать лишь с тем, что, испытав стохастическое воздействие препятствия, **он приобретает волноподобные свойства.**

Заметим, что на рисунках с квантоном изображена некая стена. На самом деле препятствие, которое преодолевает квантон, не является механической преградой. Им служит, как правило, граница между потенциальными полями – так называемый потенциальный барьер.



Успешность преодоления барьера зависит от соотношения энергии квантона E и «высоты» барьера U .

Эта гипотеза имеет подтверждение Дэвиссоном и Л. Джермером (1927 г.) в опыте **с частицами**, когда неожиданно была **обнаружена типичная дифракционная картина**

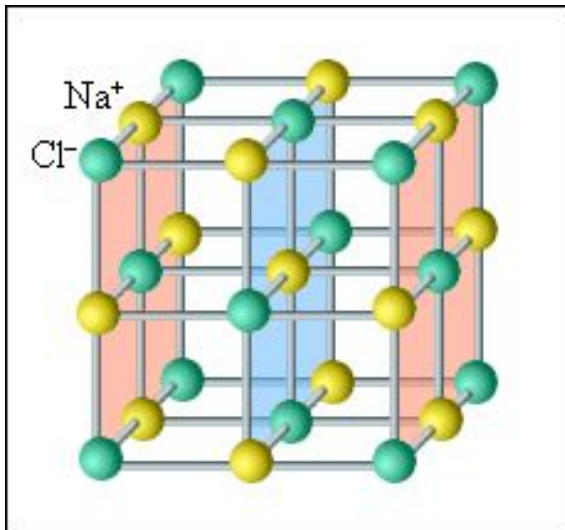


Максимумы на кривой интенсивности соответствуют тем точкам экрана, куда упало наибольшее число частиц, т.е. велика вероятность попадания.. На этом основании эти волны интерпретируют как волны вероятности.

- Дифракция - свидетельство особого **волнового** процесса, который в данном случае порождается движущимися **частицами (напр., электронами)**
- **Природа этого процесса необычна** (противоречивое сочетание волны и частицы, что невозможно в классике).
- Для интерпретации природы этих волн необходимо обсудить их особенности

Условия наблюдения:

- Поток частиц падает на кристалл
(Кристаллическая решетка –
аналог совокупности щелей
для дифракции ЭМИ)



Размер естественной
«щели» в
кристаллической
решетке $\sim 10^{-10}$ м
Следовательно, **длина
волны дифрагирующих
волн λ также $\sim 10^{-10}$ м**



Луи де Бройль (1892-1987),
Нобелевский лауреат 1929г.
Франция

Волна, которая связана с
микрочастицей, называется
волной де Бройля

Эксперимент подтверждает .ю что
длина волны де-Бройля

$$\lambda = \frac{2\pi\hbar}{p}$$

Здесь \hbar - постоянная Планка, а величина λ
~ равна периоду кристаллической решётки,
на которой наблюдается дифракция,
 p - импульс частицы.

**Это соотношение указывает на
связь между p (корпускулярной**

**характеристикой микрочастицы) и λ
(характеристикой состояния микрочастицы,
формируемого окружением).**

Особенности дифракции частиц

- Эффект наблюдается для **любых микрочастиц** (с зарядом и нейтральных)

След., природа этого процесса **не связана** с **электромагнитными** волнами.

- Волновые свойства проявляются и у **свободных (в классическом смысле)** микрочастиц.

След., природа этого процесса **не связана** с **механическими** волнами, т.е. с процессами, вызванными механическими возмущениями.

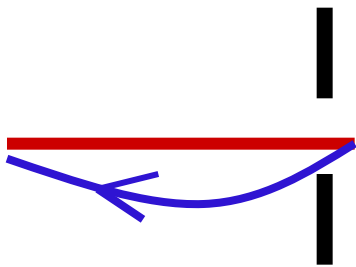
Итак, экспериментально доказано, что **при движении любых микрочастиц проявляются волновые свойства.**

Одна микрочастица в **одиночном** опыте со щелью **не создает** дифракционной картины.

Дифракция микрочастиц происходит, если



1. Через «щель» **одновременно** проходит «поток» микрочастиц



2. **Одну и ту же частицу** поочередно возвращать в исходное положение перед щелью

NB

- **Волновые свойства возникают только в коллективе N одинаковых событий, происходящих в одних и тех же условиях**
- **Этот коллектив называется неклассическим статистическим ансамблем**
- **Корректно** использовать теорию вероятностей можно только в случае, когда $N \rightarrow \infty$.

Классические представления не работают. Необходимо обращение к неклассическим идеям о стохастическом воздействии

- 1. В момент прохождения условной «щели» частицы испытывают стохастическое квантовое воздействие**
- 2. Возникает ансамбль квантонов и образуется дифракционная картина.**
- 3. Направление импульса (и скорости) квантона становится случайным.**
- 4. В случае ансамбля квантонов возникает устойчивая дифракционная картина**

- В опыте по дифракции одиночной микрочастицы на щели нельзя однозначно предсказать координату квантона x после прохождения щели. Это случайная характеристика.
- Координату квантона x после щели можно предсказать только через указание вероятности $W(x)$ ее попадания в определенную точку экрана x ,
- С помощью теории вероятностей для случайных величин находят средние значения характеристик и отклонения от них.
- Импульс и скорость способны испытывать флуктуации, характеризуемые дисперсией

$$A = \langle A \rangle \pm \Delta A$$

- Ансамбль квантонов описывается вероятностным образом через **величину $\Psi(x)$** , называемую **амплитудой вероятности**, или **волновой функцией**. Она может быть комплексной функцией.
- **Вероятность** события **$W(x)$** , при котором одиночный квантон попадет в точку экрана с координатой **x** **связана с амплитудой вероятности $\Psi(x)$** следующим соотношением:

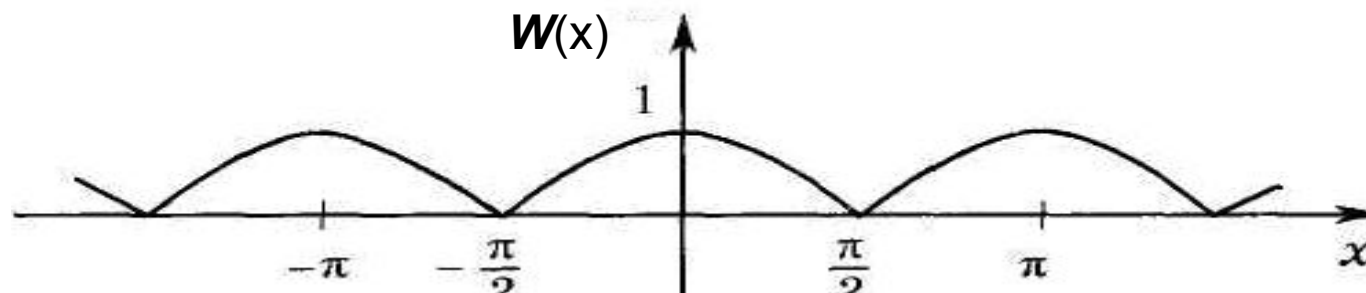
$$W(x) = |\Psi(x)|^2 .$$

- Так как вероятность – действительная и сугубо положительная величина, в этой формуле амплитуда вероятности берётся по модулю:

$$|\Psi(x)|^2 = \Psi^*(x) \Psi(x),$$

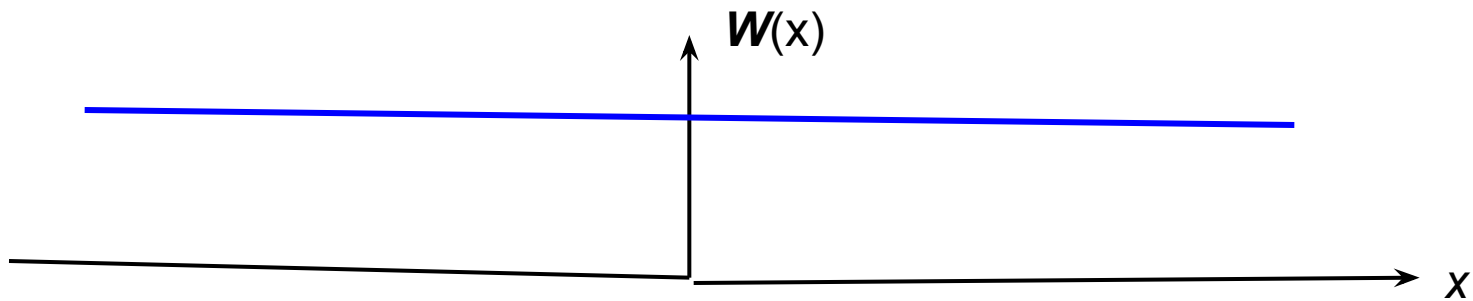
где символ * означает комплексное сопряжение

Во многих ситуациях поведение вероятности в зависимости от координаты $W(x)$ имеет волнообразный характер.



В ряде точек оси x вероятность обнаружить квантон равна нулю. В них квантон находиться не может.

График $W(x)$ для **свободного квантона** (нет регулярного воздействия) в **неограниченном пространстве**:



Вероятность обнаружить квантон одинакова во всех точках оси x , что аналогично волне.

Как узнать вероятность $W(x)$?

1. Определить из опыта;
2. Вычислить теоретически, решая знаменитое уравнение, предложенное Э.Шредингером.



Э. Шрёдингер 1887-1961
(Нобелевская премия 1933 г.)



Уравнение Шредингера

позволяет непосредственно найти волновую функцию $\Psi(x)$ квантона, а через нее и вероятность $W(x)$ для целого ряда конкретных ситуаций

Для квантовых состояний уравнение Шредингера играет роль, аналогичную роли уравнения второго закона Ньютона в классической физике.

«Волновые» характеристики ансамбля квантонов λ (длина волны) и ω (частота) жестко связаны с характеристиками корпускулы p (импульсом) и ε (энергией) через постоянную Планка.

$$\lambda = 2\pi\hbar / p; \quad \omega = \varepsilon / \hbar;$$

Длина волны Импульс частицы Частота волны Энергия частицы

Присутствие в этих формулах постоянной стохастического квантового воздействия \hbar говорит о сугубо неклассической природе этих волн.

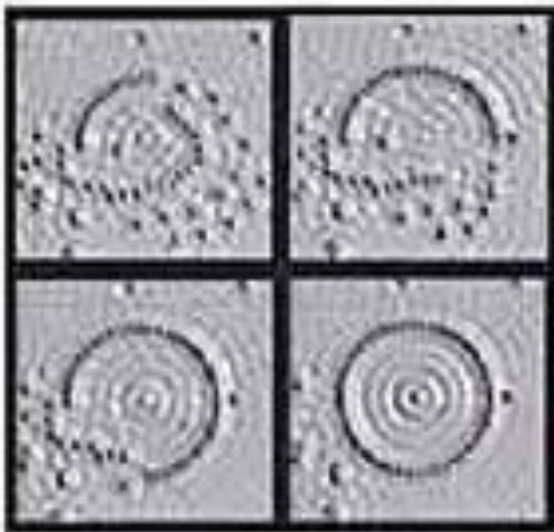
Постоянная Планка – фундаментальная константа квантового стохастического воздействия

- $\hbar = 1,06 \cdot 10^{-34}$ Дж · сек

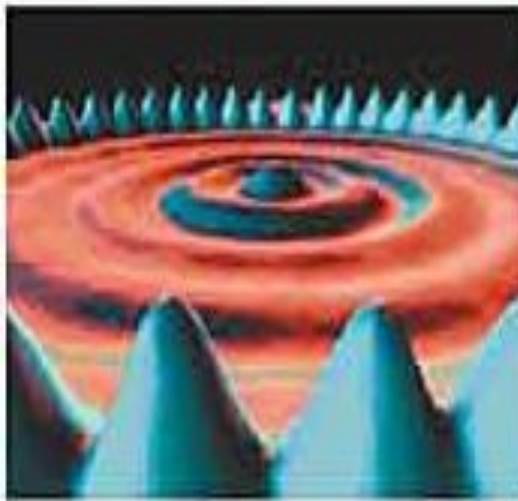
- Она характеризует минимальное значение квантового стохастического воздействия окружения на объект

«Наблюдение» волн вероятности

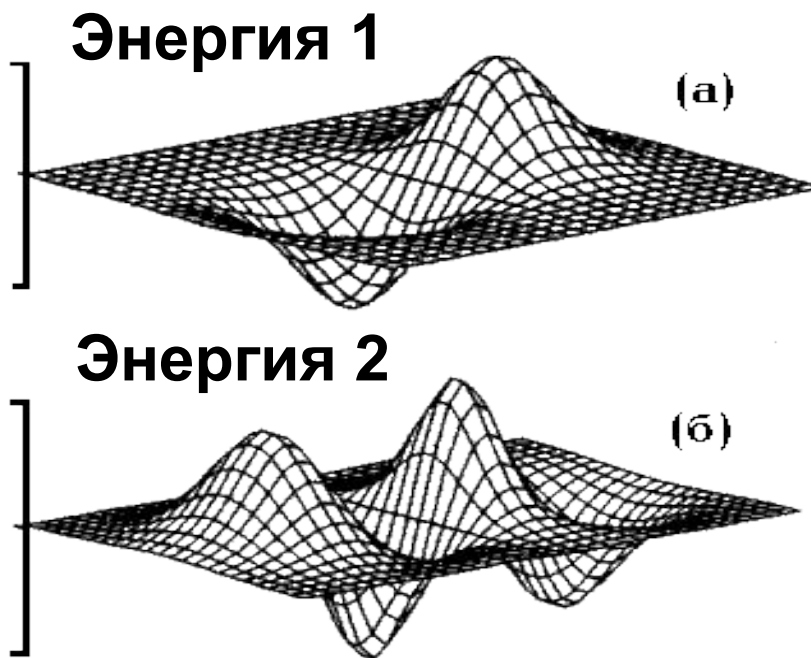
«квантовый загон» для
электрона из атомов
железа на поверхности
кремния



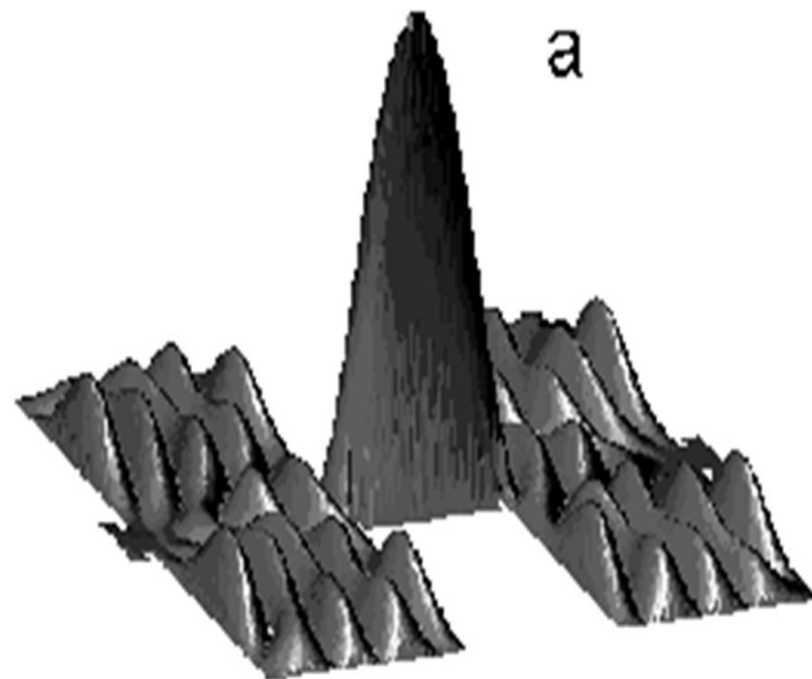
в собранном «загоне» видны
стоячие волны электронной
плотности захваченного
ловушкой электрона



Волны де Бройля могут быть стоячими (в ограниченной области) и бегущими (в свободном пространстве)



Пример возможной формы амплитуды вероятности квантона для разных энергий



Пример распределения вероятности (квадрат амплитуды вероятности) для квантона

Наиболее (горбы) и наименее (впадины) вероятные положения квантона

Особенность квантовых состояний:

Квантон **может одновременно** находиться в нескольких квантовых состояниях:

и в состоянии $|1\rangle$ **и** в состоянии $|2\rangle$:

состояние $|3\rangle = C_1 |1\rangle + C_2 |2\rangle$;

возникает «смесь» (суперпозиция) состояний, осуществляемых с разными вероятностями:

$$W_1 = |C_1|^2 ; W_2 = |C_2|^2$$

Однако в эксперименте обнаруживается только одно из двух возможных состояний. Как правило, это будет состояние, вероятность которого больше.

Природа диктует нам НЕКЛАССИЧЕСКУЮ ЛОГИКУ

- квантон может **одновременно** находиться в разных точках пространства : **и** здесь, **и** там, **и** сям.
- **Одновременное сочетание** нескольких альтернативных возможностей – признак неклассической логики

Логика «и-и»
(идея дополнительности!)

В классической логике это НЕВОЗМОЖНО—

- Всегда есть альтернатива:
или здесь, **или** там

Классическая логика основана на
выборе одной из альтернативных
возможностей.

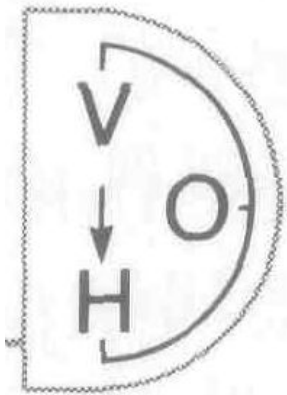
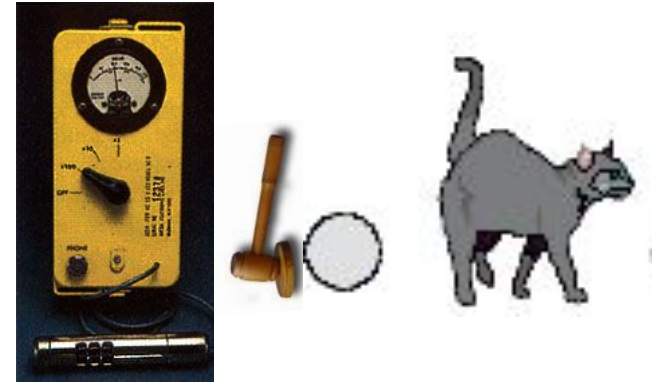
Это логика **или-или**

Парадокс кота Шрёдингера

В закрытом ящике находится кот.

В том же ящике :

- атом радиоактивного изотопа,
- счётчик продуктов распада,
- молоток, разбивающий ампулу с ядом при срабатывании счетчика



Пока атом не распался, с котом всё в порядке,

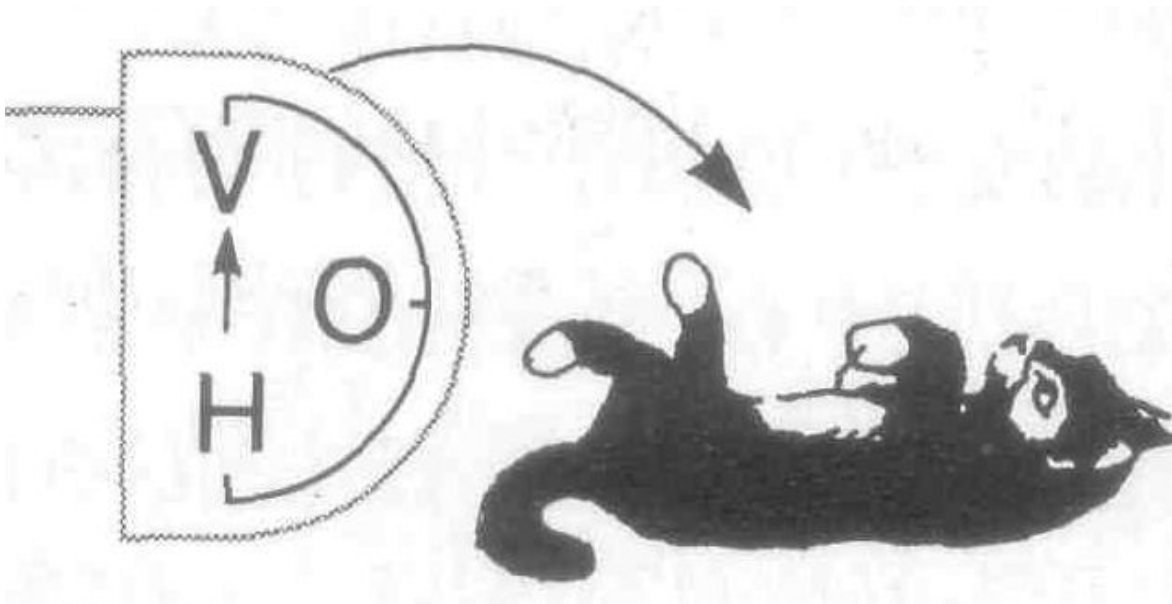
Далее вступает в силу вероятностный характер квантового состояния.

- Неизвестно, когда атом распадётся. В каждый данный момент имеется лишь определённая вероятность его распада.
- В каждый данный момент **атом** находится в суперпозиции **двух** квантовых состояний: **состояния**, когда он **ещё не распался**, и **состояния**, когда он **уже распался**.

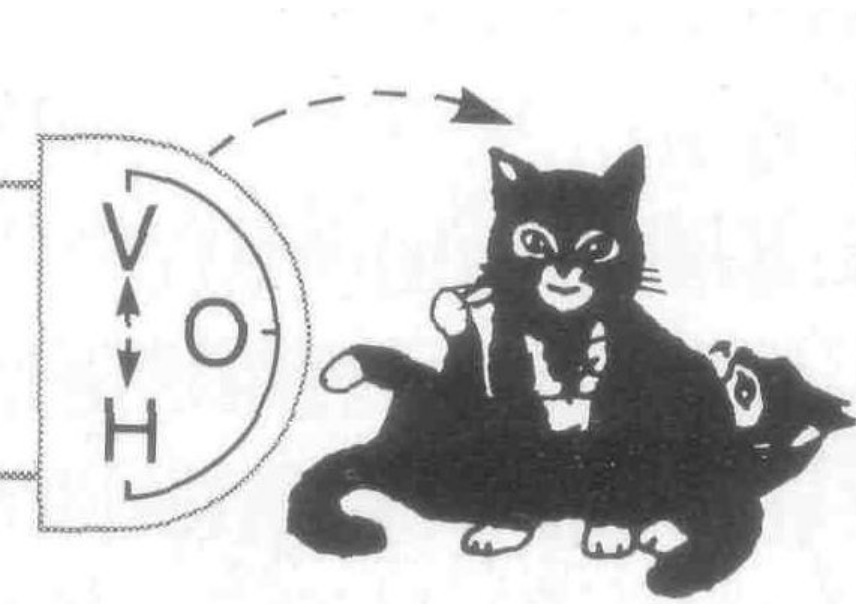


С другой стороны,

- когда атом распадается, срабатывает счётчик;
- по его сигналу молоток разбивает ампулу, и кот гибнет от яда.



- подходя к **закрытому** ящику, мы должны считать, что система (атом- кот) находится в суперпозиции двух состояний:

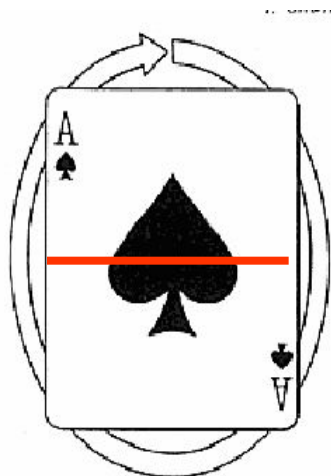


нераспавшийся атом
и живой кот
+
распавшийся атом
и мёртвый кот.

Возникающий nonsense
является парадоксом лишь для
макроскопического тела, каким
является кот

**В микромире –
это обыденное явление**

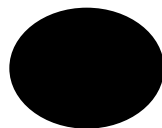
СПИН - сугубо квантовая характеристика микрообъектов, связанная с особой симметрией, На рисунках - бытовые аналоги различной симметрии в зависимости от значения спина



В этом случае для совмещения объекта с самим собой нужен поворот на 360° .

Аналог состояния объекта со спином

$$s = \frac{\hbar}{2}$$



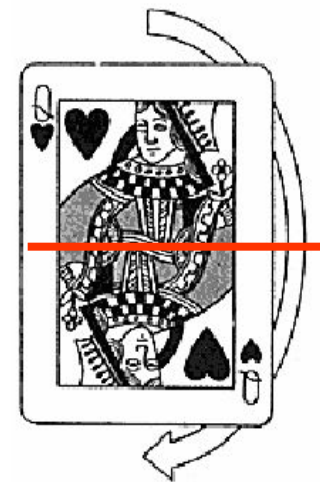
В круге возможны любые повороты. Аналог состояния объекта со спином

$$s = 0$$

Для разных микрообъектов может иметь значения

$$s = n \frac{\hbar}{2},$$

$$n = 0, 1, 2, 3 \dots$$



В этом случае для совмещения объекта с самим собой нужен поворот на 180° .

Аналог состояния объекта со спином

$$s = \hbar$$

Спин –проявляет себя:

- а) **в магнитном поле** (частица подобна магнитной стрелке)

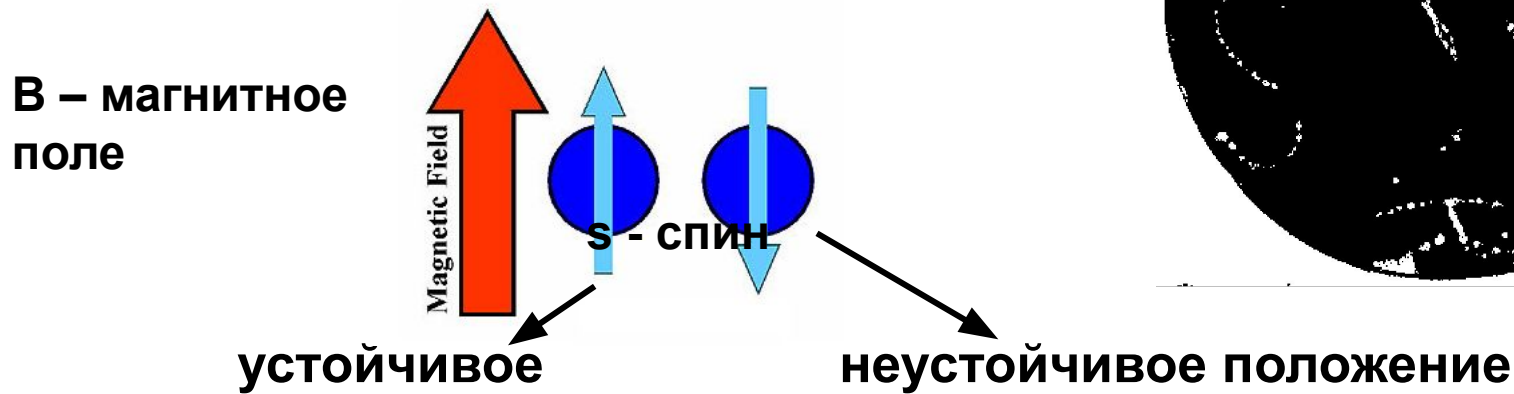


Рис. справа. При включении магнитного поля исходный поток частиц расщепляется на два разной интенсивности (вдоль поля – ярче).

- б) **в коллективах одинаковых частиц**

В зависимости от величины спина микрообъекты делятся на

БОЗОНЫ (фотоны и другие переносчики фундаментальных взаимодействий с нулевой массой):

$$s = 0, 1\hbar, 2\hbar, \text{ любое чётное число } \hbar/2 .$$

ФЕРМИОНЫ (электроны, протоны, нейтроны и другие частицы с ненулевой массой):

$$s = \frac{1}{2} \hbar, \frac{3}{2} \hbar, \frac{5}{2} \hbar, \dots \text{ (любое нечётное число } \hbar/2 \text{)}$$

- Различие между фермионами и бозонами проявляется в коллективном поведении тождественных квантонов.

Особенность поведения бозонов



- **Бозоны** с полностью идентичными характеристиками **могут** пребывать в одном и том же квантовом состоянии без ограничения их количества. **образовывать конденсат.**

В этом отношении они ведут себя подобно ансамблю музыкантов, играющих в унисон

Благодаря способности идентичных **фотонов (бозонов)** скапливаться в одном состоянии, мы наблюдаем мощное когерентное излучение лазеров

Этим свойством объясняется сверхтекучесть и сверхпроводимость жидкого гелия, в котором фермионы-электроны образуют пары и возникает бозонный конденсат. Недавно открыто большое количество новых бозонных конденсатов в различных средах.

Особенность поведения фермионов

Два и более фермиона с полностью идентичными характеристиками **не могут** одновременно находиться в одном квантовом состоянии!
– *принцип запрета Паули*

В этом отношении фермионы подобны исполнителю-солисту



Австрийская почтовая марка с портретом Вольфганга Паули (1900-1958)

Между фермионами с рядом **одинаковых** характеристик должно быть **различие хотя бы** в ориентации их **спинов**.

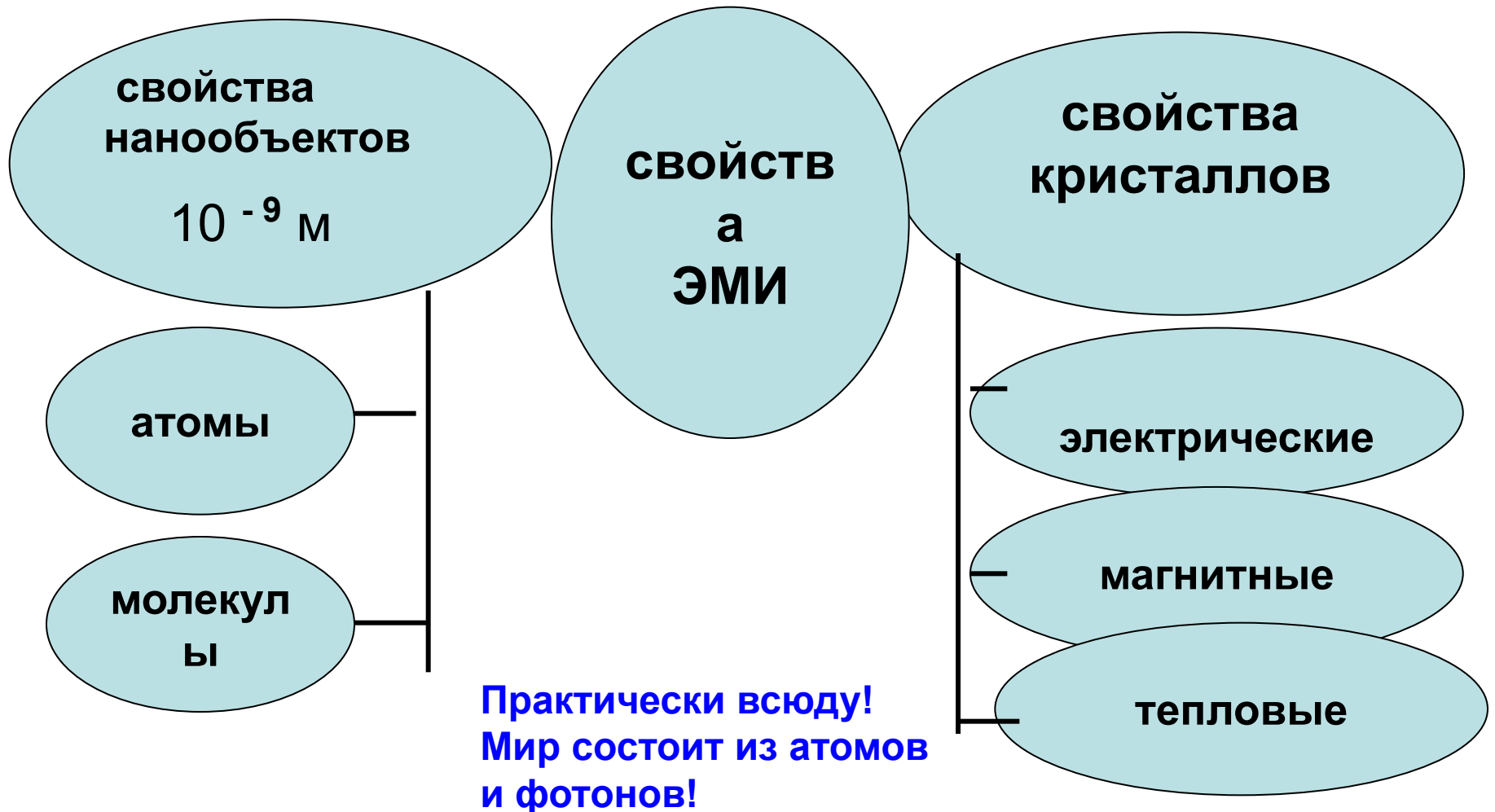
Этому требованию подчиняются электронные состояния в атомах.

Эвристичность принципа Паули

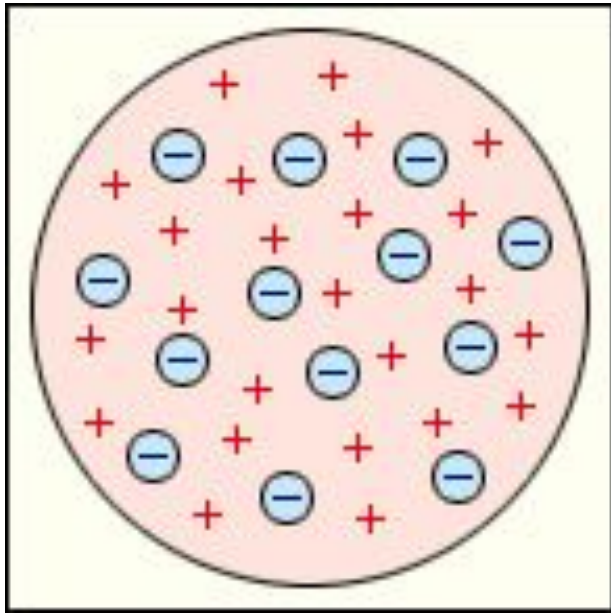
(Архимед воскликнул «эврика!» (*нашёл!*). Эвристический – стиль продуктивного мышления при решении нестандартных задач.

- Если всё-таки все **известные** характеристики фермионов в одном состоянии совпадают, необходимо вводить **новую характеристику**, по которой между фермионами будет отличие!
- Пример 1. Для различения в нуклоне практически идентичных **состояний** *трех* кварков (фермионов) вводится новая трёхзначная характеристика – «цвет» (**красный**, **синий**, **зелёный**) (см. модель нуклона)
- Пример 2. Для различения в ядре дейтрона идентичных **состояний** протона и нейтрона (двух фермионов) вводится новая двузначная характеристика **изоспин (\pm)**.
- Это позволяет глубже проникнуть в свойства микромира

Где проявляются особенности поведения квантонов?



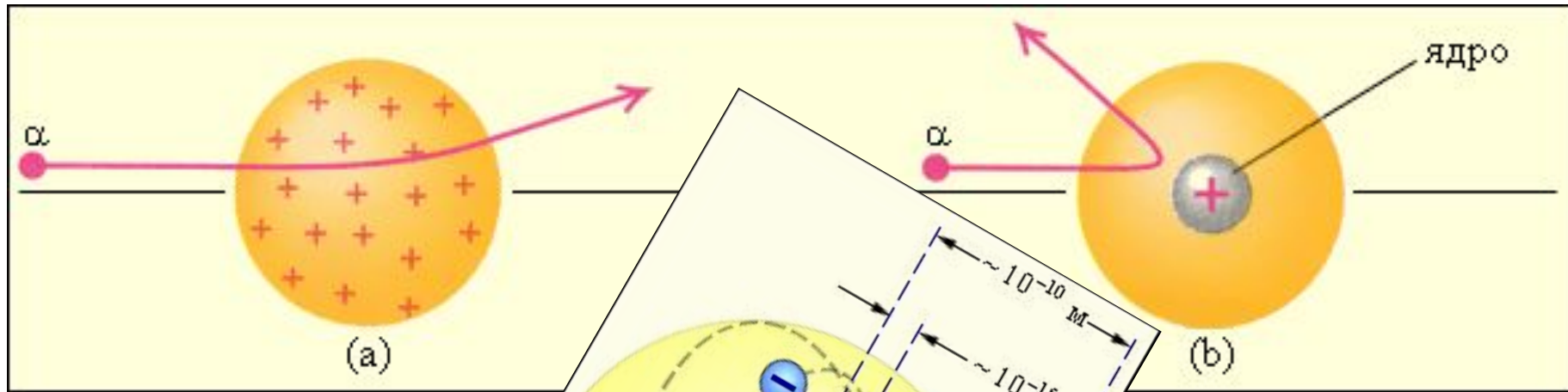
Модель атома Дж.Томсона 1903 г.



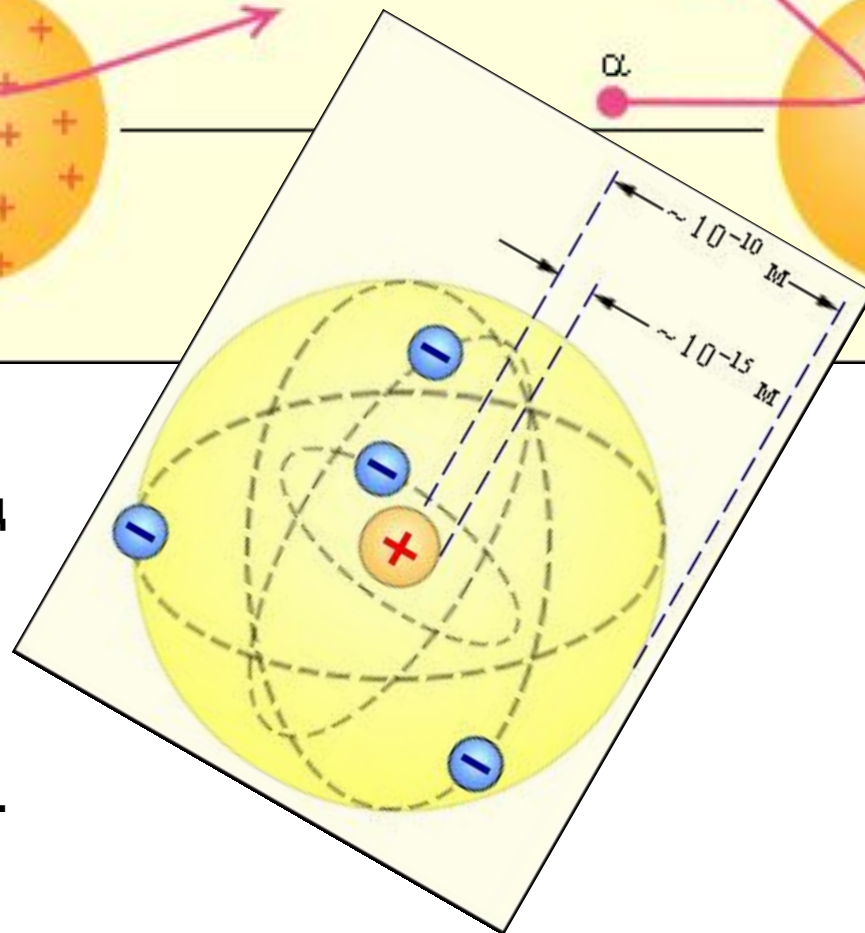
Пудинг с изюмом:

Электронейтральная
система с равномерно
распределенным
положительным
зарядом и
вкраплениями
отрицательных
электронов

Модель Резерфорда 1911 г.



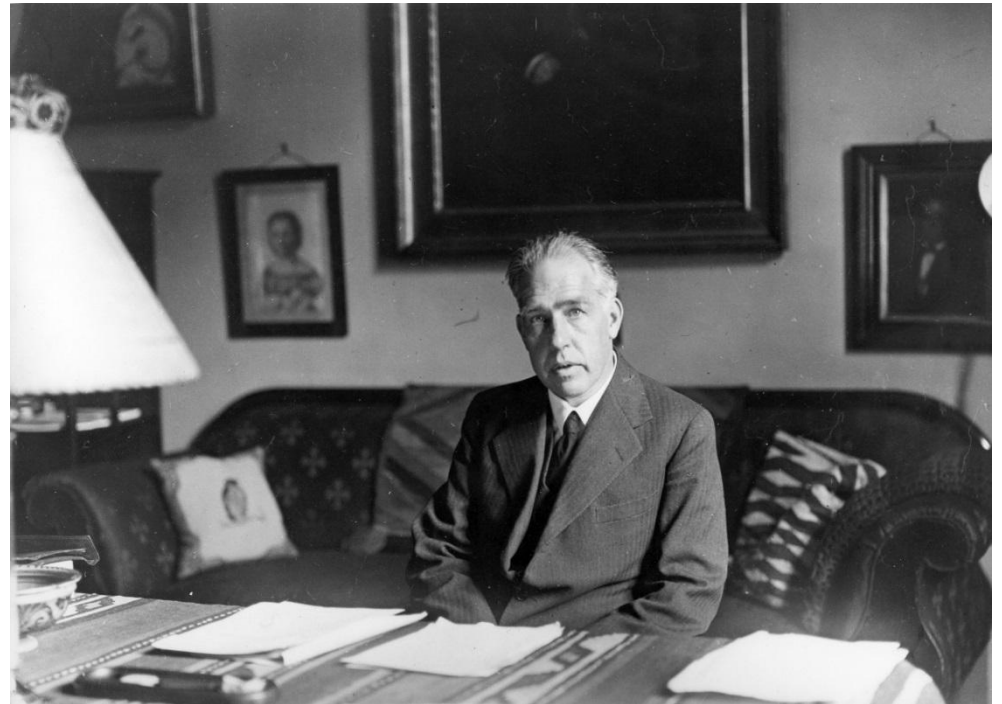
Опыты по
рассеянию α-частиц
свидетельствовали
о наличии
массивного
образования в
центре атома - ядра.



Но устойчивость
атома модель не
объясняла

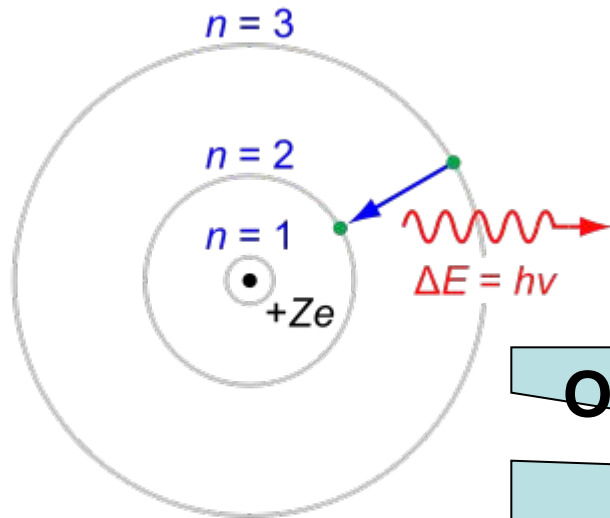
Нильс Бор (1885 - 1962)

датский ученый, один из создателей современной физики. Автор основополагающих трудов по квантовой механике, теории атома, атомного ядра, ядерным реакциям.



Модель простейшего атома - атома ${}_1\text{H}^1$

- по Нильсу Бору (1913 г.) также подобна планетной системе: это совокупность устойчивых орбит – возможных траекторий электрона в зависимости от его энергии



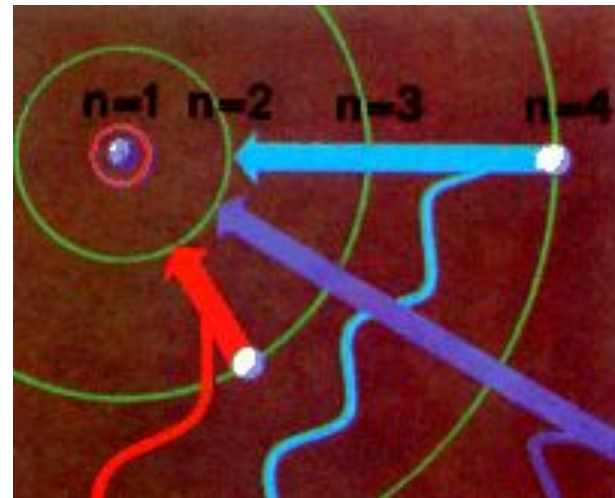
учитывает **только регулярное воздействие - кулоновское притяжение** между протоном и электроном

Основное состояние электрона – ближайшая к ядру орбита

Основные особенности модели Бора

- Энергия системы «электрон - ядро» принимает дискретные значения, различные для разных орбит $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3 \dots$
- Атом излучает и поглощает энергию при переходах между орбитами порциями (квантами) величиной

$$\begin{aligned}(\epsilon_2 - \epsilon_1) &= \hbar\omega_{21}; \\ (\epsilon_3 - \epsilon_1) &= \hbar\omega_{31}; \\ (\epsilon_3 - \epsilon_2) &= \hbar\omega_{32}; \dots\end{aligned}$$



Модель Бора - противоречива

- – использует понятие электронной **орбиты** (определенной траектории) с **постоянной энергией**.
- но движение по ней должно сопровождаться потерей энергии на излучение, однако модель **этого не учитывает** - модель **непоследовательна**
- **Волновые свойства электрона** учитывает только косвенно - на орбите укладывается целое число **стоячих волн де Бройля**, однако **рассматривается только дискретная совокупность разрешенных орбит**

Модель Бора сочетает классические и неклассические положения

- - учитывает **только регулярное воздействие - кулоновское притяжение** между протоном и электроном (**классический подход**),
- приписывает электрону дискретные значения энергии (**противоречит классике!**)
- **не объясняет** многие свойства атомов, наблюдаемые на опыте (в том числе – разнообразие геометрии и наличие объема).

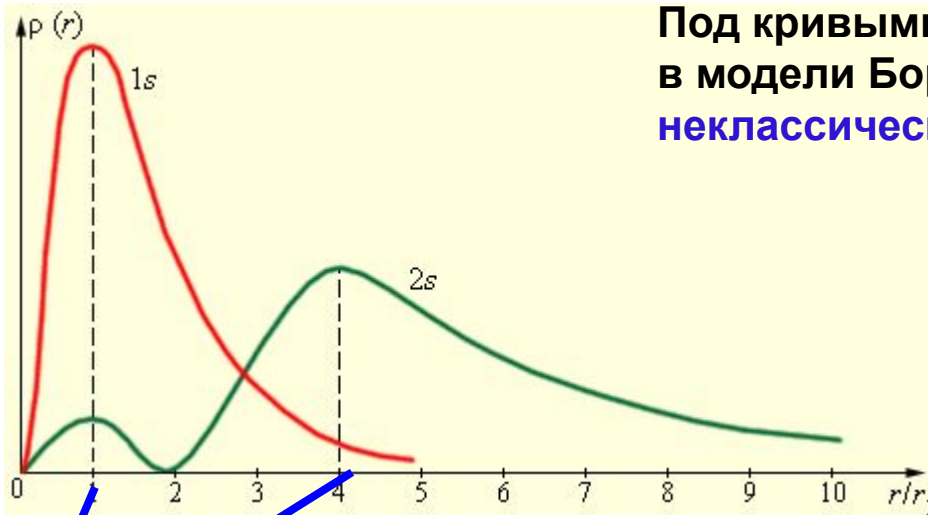
Современная модель атома водорода как решение уравнения Шрёдингера

ОСОБЕННОСТИ:

- Учитывает **стохастическое воздействие** на электрон со стороны ядра
- Электрон - квантон даже в основном состоянии, он адекватно описывается волновой функцией
- Электрон **может быть обнаружен практически на любом расстоянии от ядра, но с разной вероятностью**

Что даёт решение уравнения Шрёдингера?

Вероятность обнаружить электрон на разных расстояниях от ядра в основном состоянии

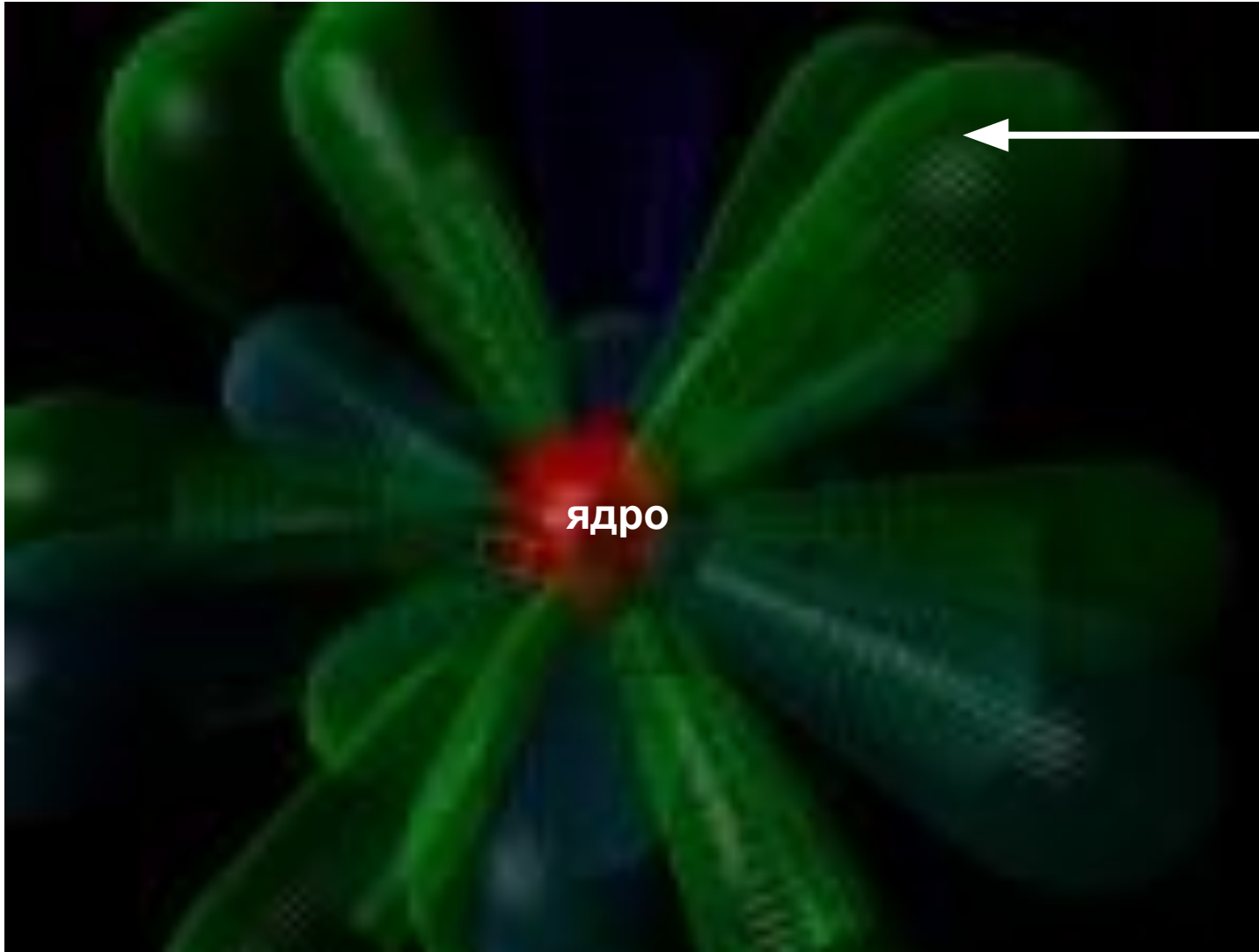


Под кривыми - области, **недоступные** электрону в модели Бора и **доступные** электрону в неклассической современной модели

Представление об определенной траектории электрона теряет всякий смысл

Радиусы первой и второй орбит Бора

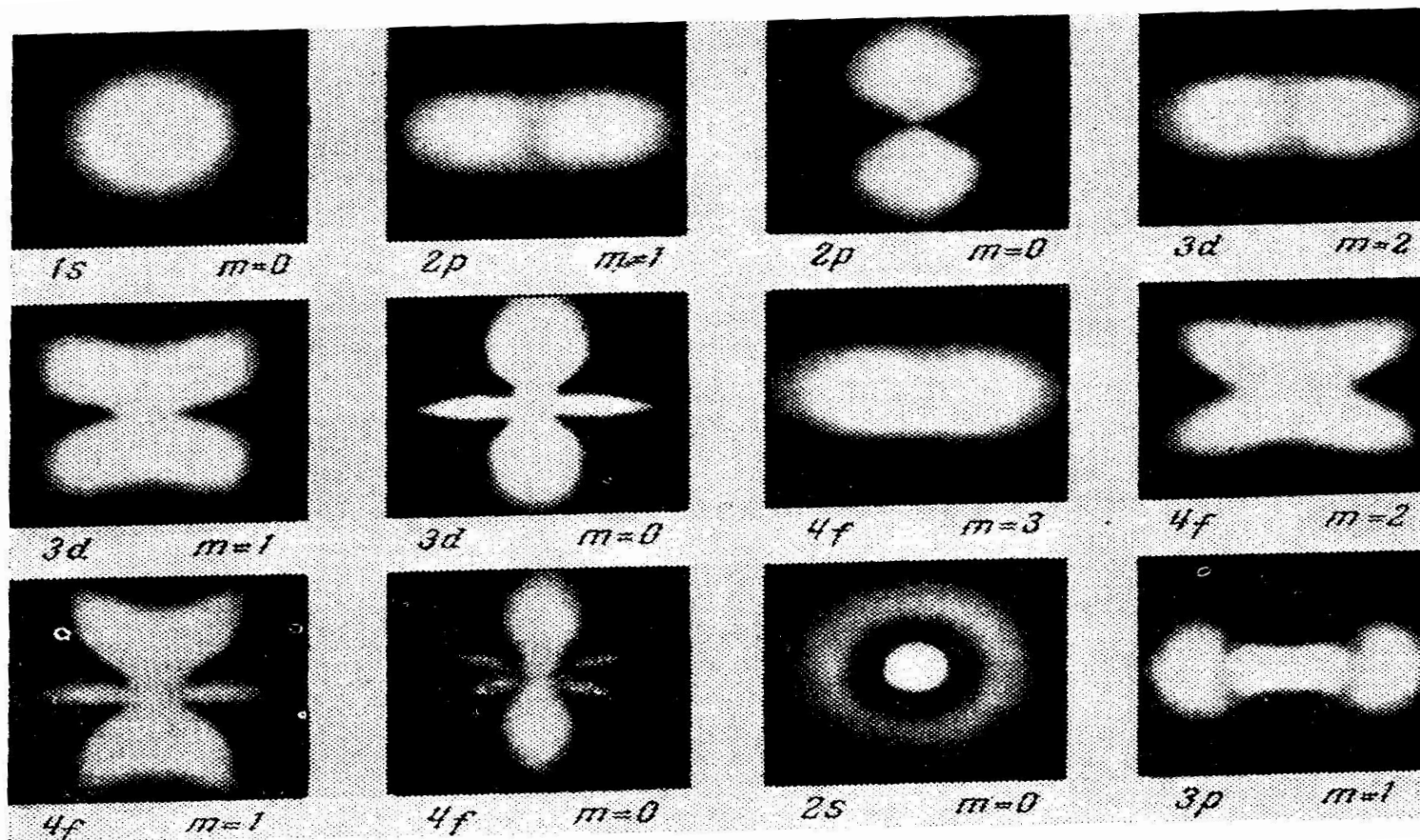
Наиболее вероятное, но не единственно возможное в основном состоянии положение электрона - на расстоянии $x = r_1 \approx 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, равном размеру первой орбиты в модели Бора. Его интуиция привела к правильному ответу



**электронные
состояния в
атоме**

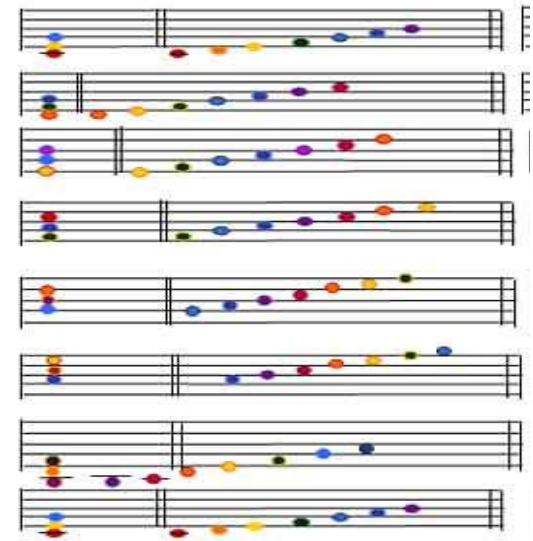
Нечеткость контуров электронных состояний – свидетельство различной вероятности пребывания электронов в данной области

Конфигурации вероятности нахождения электрона в атоме ${}^1_1\text{H}^1$



Многоэлектронные атомы

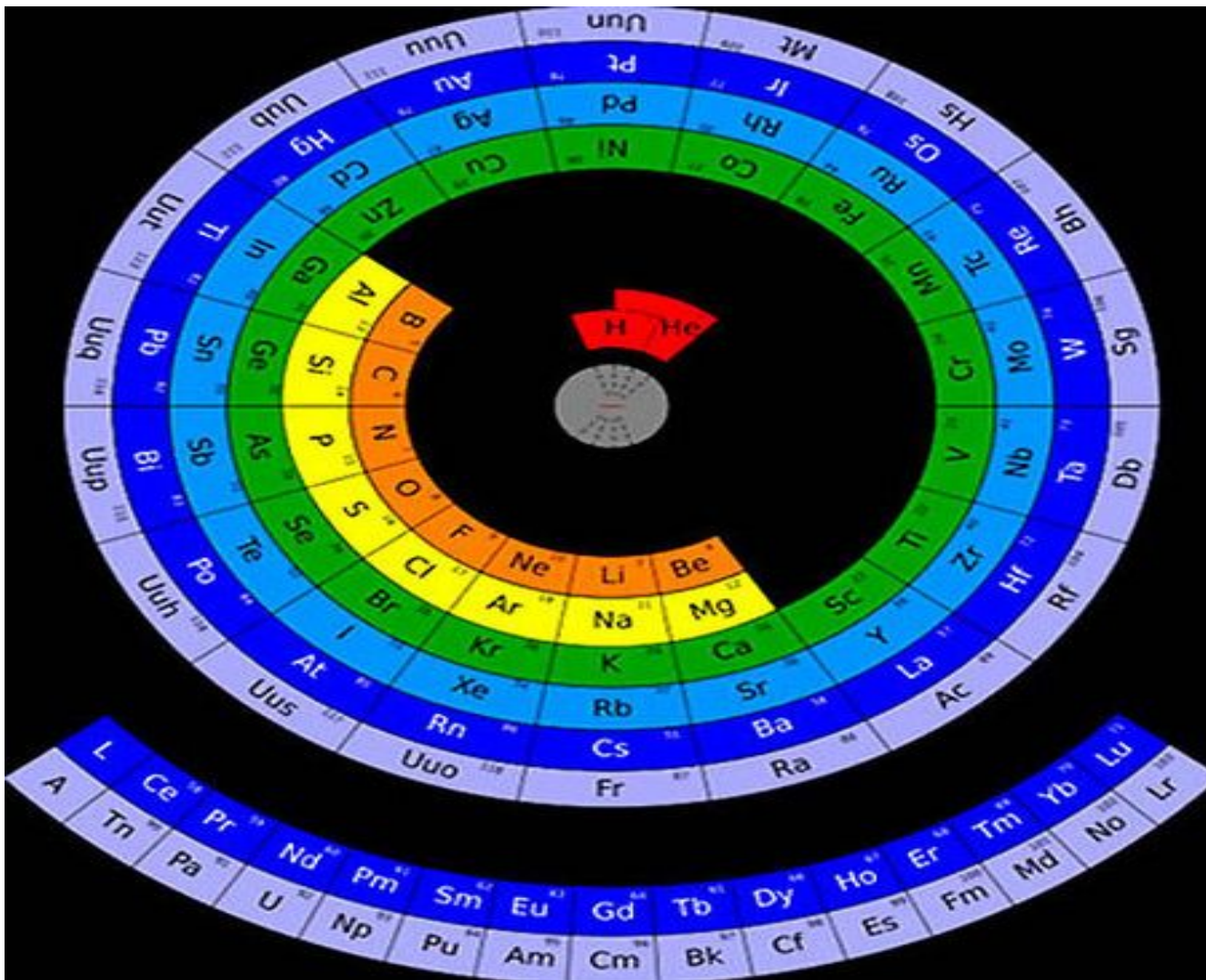
- Электронные состояния формируются с учетом выполнения принципа Паули для фермионов – в каждом состоянии может находиться только по 2 электрона с различной ориентацией спина



ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

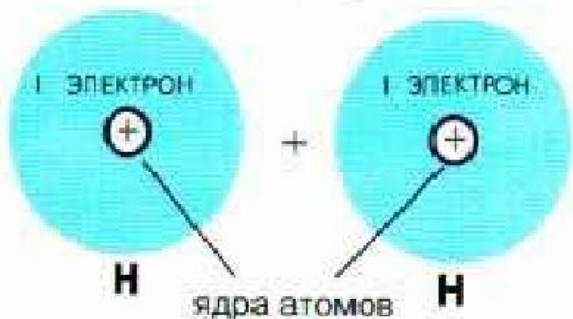
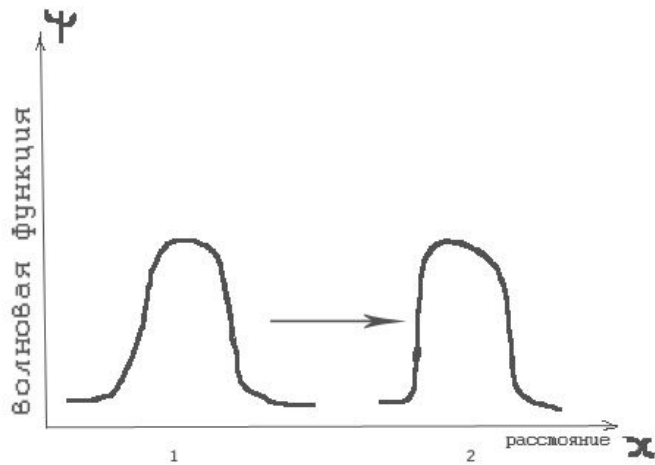
№ по порядку	№ группы	Символ	Обозначение	Последняя заполненная оболочка	№ периода	Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева																		№ периода	№ группы
						I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII					
						a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b						
1	2	K	1 st		1	I																		1	1
2	8	L	2 nd		2	II																		2	2
3	8	M	3 rd		3	III																		3	3
4	18	N	4 th		4	IV																		4	4
5	18	O	5 th		5	V																		5	5
6	32	P	6 th		6	VI																		6	6
7	32	Q	7 th		7	VII																		7	7
8	32	R	8 th		8	VIII																		8	8
9	32	S	9 th		9	IX																		9	9
10	32	T	10 th		10	X																		10	10
11	32	U	11 th		11	XI																		11	11
12	32	V	12 th		12	XII																		12	12
13	32	W	13 th		13	XIII																		13	13
14	32	X	14 th		14	XIV																		14	14
15	32	Y	15 th		15	XV																		15	15
16	32	Z	16 th		16	XVI																		16	16
17	32	AA	17 th		17	XVII																		17	17
18	32	BB	18 th		18	XVIII																		18	18
19	32	CC	19 th		19	XIX																		19	19
20	32	DD	20 th		20	XX																		20	20
21	32	EE	21 st		21	XXI																		21	21
22	32	FF	22 nd		22	XXII																		22	22
23	32	GG	23 rd		23	XXIII																		23	23
24	32	HH	24 th		24	XXIV																		24	24
25	32	II	25 th		25	XXV																		25	25
26	32	JJ	26 th		26	XXVI																		26	26
27	32	KK	27 th		27	XXVII																		27	27
28	32	LL	28 th		28	XXVIII																		28	28
29	32	MM	29 th		29	XXIX																		29	29
30	32	NN	30 th		30	XXX																		30	30
31	32	OO	31 st		31	XXXI																		31	31
32	32	PP	32 nd		32	XXXII																		32	32
33	32	QQ	33 rd		33	XXXIII																		33	33
34	32	RR	34 th		34	XXXIV																		34	34
35	32	SS	35 th		35	XXXV																		35	35
36	32	TT	36 th		36	XXXVI																		36	36
37	32	UU	37 th		37	XXXVII																		37	37
38	32	VV	38 th		38	XXXVIII																		38	38
39	32	WW	39 th		39	XXXIX																		39	39
40	32	XX	40 th		40	XL																		40	40
41	32	YY	41 st		41	XLI																		41	41
42	32	ZZ	42 nd		42	XLII																		42	42
43	32	AAA	43 rd		43	XLIII																		43	43
44	32	BBB	44 th		44	XLIV																		44	44
45	32	CCC	45 th		45	XLV																		45	45
46	32	DDD	46 th		46	XLVI																		46	46
47	32	EEE	47 th		47	XLVII																		47	47
48	32	FFF	48 th		48	XLVIII																		48	48
49	32	GGG	49 th		49	XLIX																		49	49
50	32	HHH	50 th		50	L																		50	50
51	32	III	51 st		51	LI																		51	51
52	32	JJJ	52 nd		52	LII																		52	52
53	32	KKK	53 rd		53	LIII																		53	53
54	32	LLL	54 th		54	LIV																		54	54
55	32	MMM	55 th		55	LV																		55	55
56	32	NNN	56 th		56	LVI																		56	56
57	32	OOO	57 th		57	LVII																		57	57
58	32	PPP	58 th		58	LVIII																		58	58
59	32	QQQ	59 th		59	LIX																		59	59
60	32	RRR	60 th		60	LX																		60	60
61	32	SSS	61 st		61	LXI																		61	61
62	32	TTT	62 nd		62	LXII																		62	62
63	32	UUU	63 rd		63	LXIII																		63	63
64	32	VVV	64 th		64	LXIV																		64	64
65	32	WWW	65 th		65	LXV																		65	65
66	32	XXX	66 th		66	LXVI																		66	66
67	32	YYY	67 th		67	LXVII																		67	67
68	32	ZZZ	68 th		68	LXVIII																		68	68
69	32	AAA	69 th		69	LXIX																		69	69
70	32	BBB	70 th		70	LXX																		70	70
71	32	CCC	71 st		71	LXXI																		71	71
72	32	DDD	72 nd		72	LXXII																		72	72
73	32	EEE	73 rd		73	LXXIII																		73	73
74	32	FFF	74 th		74	LXXIV																		74	74
75	32	GGG	75 th		75	LXXV																		75	75
76	32	HHH	76 th		76	LXXVI																		76	76
77	32	III	77 th		77	LXXVII																		77	77
78	32	JJJ	78 th		78	LXXVIII																		78	78
79	32	KKK	79 th		79	LXXIX																		79	79
80	32	LLL	80 th		80	LXXX																		80	80
81	32	MMM	81 st		81	LXXXI																		81	81
82	32	NNN	82 nd		82	LXXXII																		82	82
83	32	OOO	83 rd		83	LXXXIII																		83	83
84	32	PPP	84 th		84	LXXXIV																		84	84
85	32	QQQ	85 th		85	LXXXV																		85	85
86	32	RRR	86 th		86	LXXXVI																		86	86
87	32	SSS	87 th		87	LXXXVII																		87	87
88	32	TTT	88 th		88	LXXXVIII																		88	88
89	32	UUU	89 th		89	LXXXIX																		89	89
90	32	VVV	90 th		90	LXXXX																		90	90
91	32	WWW	91 st		91	LXXXXI																		91	91
92	32	XXX	92 nd		92	LXXXXII																		92	92
93	32	YYY	93 rd		93	LXXXXIII																		93	93
94	32	ZZZ	94 th		94	LXXXXIV																		94	94
95	32	AAA	95 th		95	LXXXXV																		95	95
96	32	BBB	96 th		96	LXXXXVI																		96	96
97	32	CCC	97 th		97	LXXXXVII																		97	97
98	32	DDD	98 th		98	LXXXXVIII																		98	98
99	32	EEE	99 th		99	LXXXXIX																		99	99
100	32	FFF	100 th		100	LXXXXX																		100	100
101	32	GGG	101 st		101	LXXXXXI																		101	101
102	32	HHH	102 nd		102	LXXXXXII																		102	102
103	32	III	103 rd		103	LXXXXXIII																		103	103
104	32	JJJ	104 th		104	LXXXXXIV																		104	104
105	32	KKK	105 th		105	LXXXXXV																		105	105
106	32	LLL	106 th		106	LXXXXXVI																		106	106
107	32	MMM	107 th		107	LXXXXXVII																		107	107
108	32	NNN	108 th		108	LXXXXXVIII																		108	108
109	32	OOO	109 th		109	LXXXXXIX																		109	109
110	32	PPP	110 th		110	LXXXXXX																		110	110
111	32	QQQ	111 st		111	LXXXXXXI																		111	111
112	32	RRR	112 nd		112	LXXXXXXII																		112	112
113	32	SSS	113 rd		113	LXXXXXXIII																		113	113
114	32	TTT	114 th		114	LXXXXXXIV																		114	114
115	32	UUU	115 th		115	LXXXXXXV																		115	115
116	32	VVV	116 th		116	LXXXXXXVI																		116	116
117	32	WWW	117 th		117	LXXXXXXVII																		117	117
118	32	XXX	118 th		118	LXXXXXXVIII																		118	118
119	32	YYY	119 th		119	LXXXXXXIX																		119	119
120	32	ZZZ	120 th		120	LXXXXXXX																		120	120
121	32	AAA	121 st		121	LXXXXXXXI																		121	121
122	32	BBB	122 nd		122	LXXXXXXXII																		122	122
123	32	CCC	123 rd		123	LXXXXXXXIII																		123	123
124	32	DDD	124 th		124	LXXXXXXXIV																		124	124
125	32	EEE	125 th		125	LXXXXXXXV																		125	125
126	32	FFF	126 th		126	LXXXXXXXVI																		126	126
127	32	GGG	127 th		127	LXXXXXXXVII																		127	127
128	32	HHH	128 th		128	LXXXXXXXVIII																		128	128
129	32	III	129 th		129	LXXXXXXXIX																		129	129
130	32	JJJ	130 th		130	LXXXXXXXX																		130	130
131	32	KKK	131 st		131	LXXXXXXXXI																		131	131
132	32	LLL	132 nd		132	LXXXXXXXII																		132	132
133	32	MMM	133 rd		133	LXXXXXXXIII																		133	133
134	32	NNN	134 th		134	LXXXXXXXIV																		134	134
135	32	OOO	135 th		135	LXXXXXXXV																		135	135
136	32	PPP	136 th		136	LXXXXXXXVI																		136	136
137	32	QQQ	137 th		137	LXXXXXXXVII																		137	137
138	32	RRR	138 th		138	LXXXXXXXVIII																		138	138
139	32	SSS	139 th		139	LXXXXXXXIX																		139	139
140	32	TTT	140 th		140	LXXXXXXXX																		140	140
141	32	UUU	141 st		141	LXXXXXXXXI																		141	141
142	32	VVV	142 nd		142	LXXXXXXXII																		142	142
143	32	WWW	143 rd		143	LXXXXXXXIII																		143	143
144	32	XXX	144 th		144	LXXXXXXXIV																		144	144
145	32	YYY	145 th		145	LXXXXXXXV																		145	145
146	32	ZZZ	146 th		146	LXXXXXXXVI																		146	146
147	32	AAA	147 th		147	LXXXXXXXVII																		147	147
148	32	BBB	148 th																						

Современное представление системы Менделеева

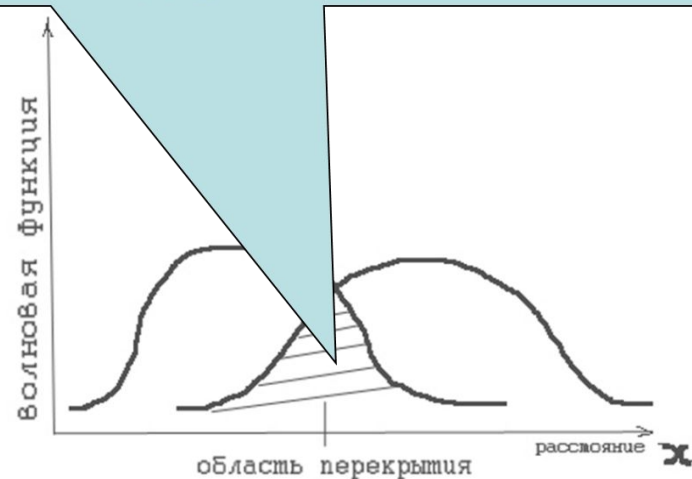


Как образуется простейшая молекула - H_2 ?

Будем мысленно сближать два удалённых атома водорода до тех пор, пока волновые функции их электронов на перекроются.



При сближении атомов образуется зона перекрытия индивидуальных волновых функций двух электронов с образованием целостного двухэлектронного состояния.



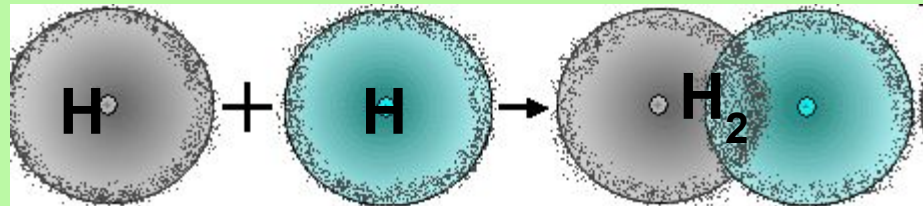
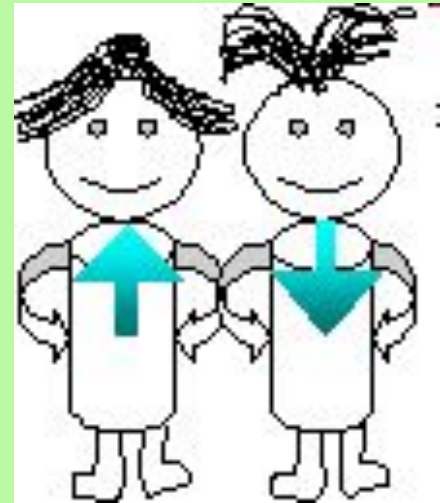
В этой зоне возникает особый тип взаимодействия электронов – обменное, которому нет классического аналога.

Состояния двух удаленных атомов H

Обменное взаимодействие - сугубо квантовый эффект

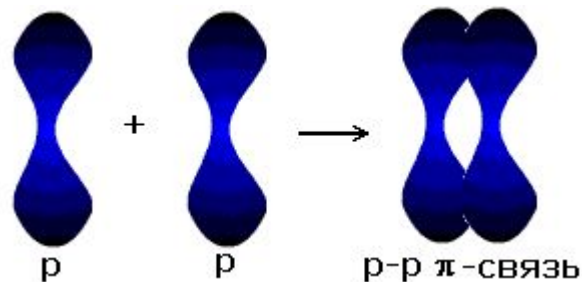
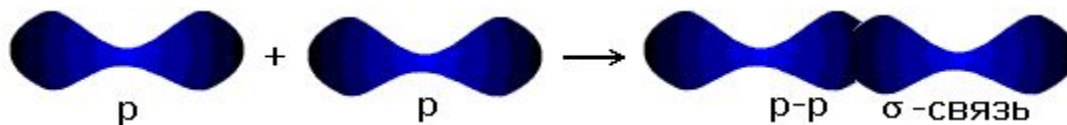
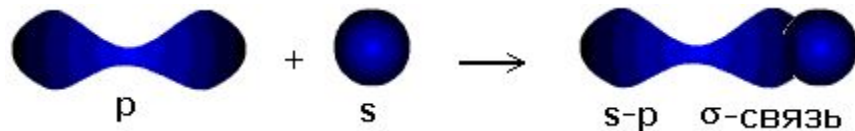
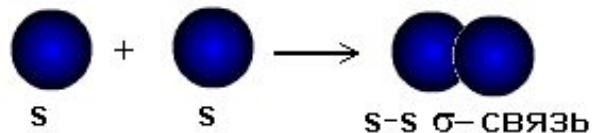
Оно зависит от взаимной
ориентации спинов
электронов.

- При антипараллельных
спинах оно имеет характер
притяжения, что и
обеспечивает
устойчивость
молекулы H_2



Химическая ковалентная связь в молекулах обусловлена обменным взаимодействием.

s-s- СВЯЗЬ
s-p- СВЯЗЬ
p-p- СВЯЗЬ
p-p- СВЯЗЬ



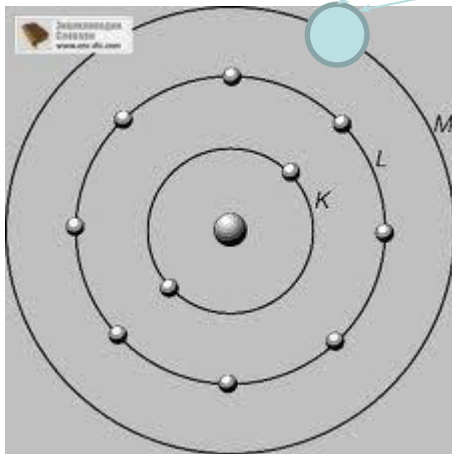


Помимо ковалентной связи, имеющей квантовую природу, существуют и другие механизмы возникновения устойчивых молекул

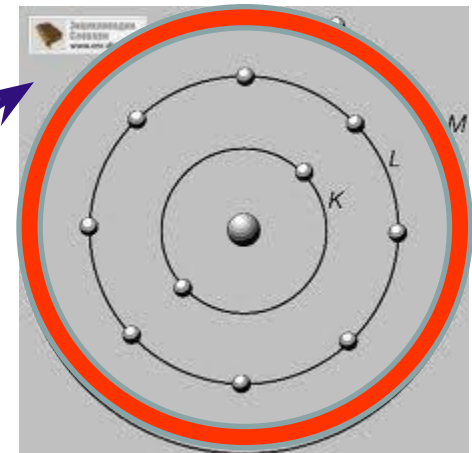
ИОННАЯ СВЯЗЬ – ЭТО ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИОНОВ НА ОСНОВЕ КУЛОНОВСКИХ СИЛ.

1. Образование иона натрия из нейтрального атома.

Валентный электрон



Ион натрия с положительным зарядом **+1**

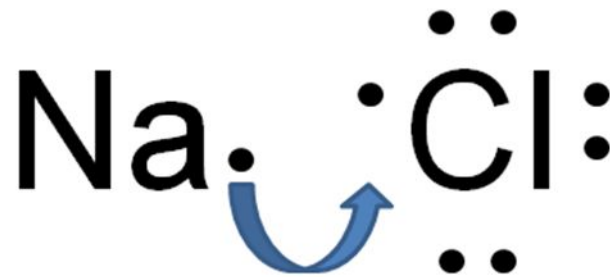


Кювета с водой, в которой валентный электрон отрывается от атома натрия.

Оторвавшийся электрон захватывается атомом хлора

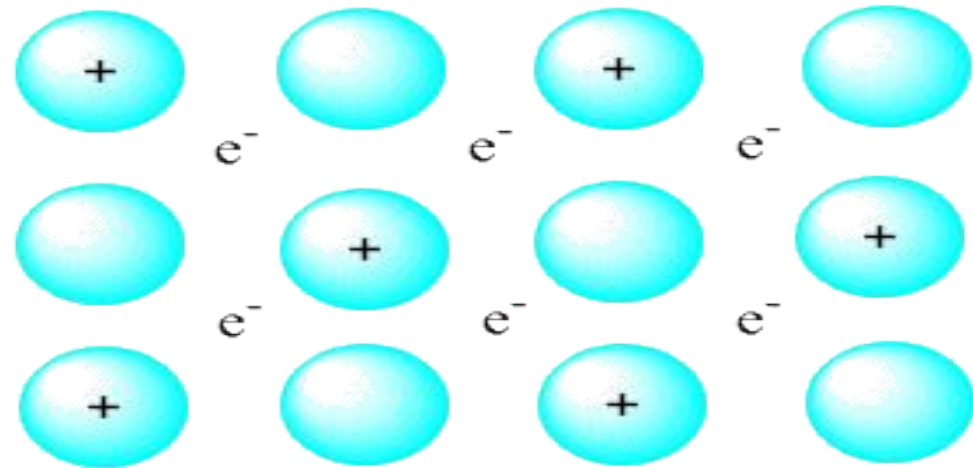
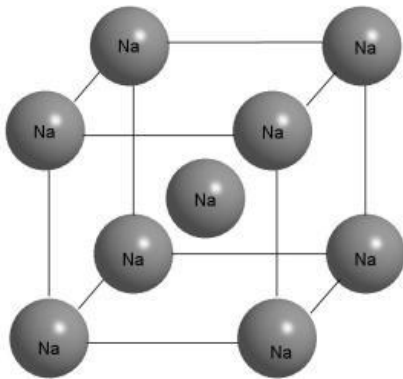


молекула с ионной связью



В молекуле **NaCl** ионы связаны электрическими кулоновскими силами

МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ

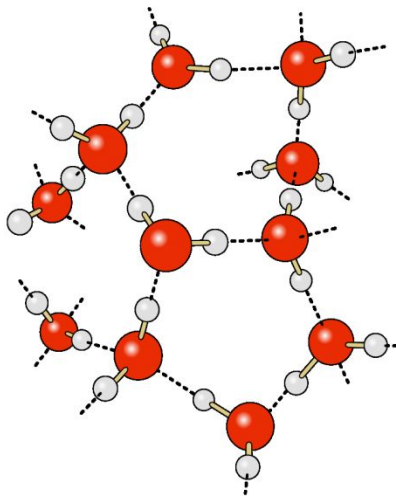


Она осуществляется благодаря тому, что в металлах есть газ свободных электронов. Они циркулируют в кристаллической решётке. Периодически каждый из них присоединяется к иону в узле кристалла и превращает его в атом, затем снова отсоединяется, формируя ион. Таким образом, катионы кристаллической решётки связаны в единое целое взаимодействием типа кулоновского.

Водородная связь осуществляется протонами

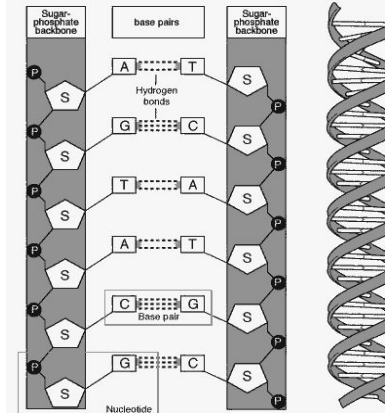
Межмолекулярная

Возникает между
молекулами



Внутримолекулярная

Возникает внутри
молекулы

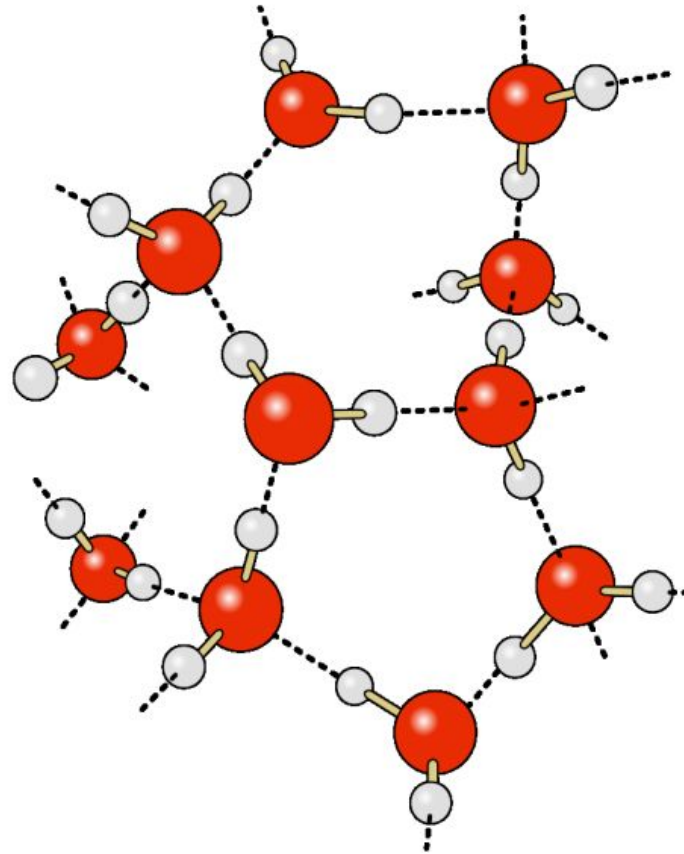


Межмолекулярная водородная связь

1) между молекулами воды

водородные связи (чёрные пунктиры) между молекулами воды приводят к возникновению *кластеров* или комплексов. Простейшим примером такого кластера может служить димер воды:

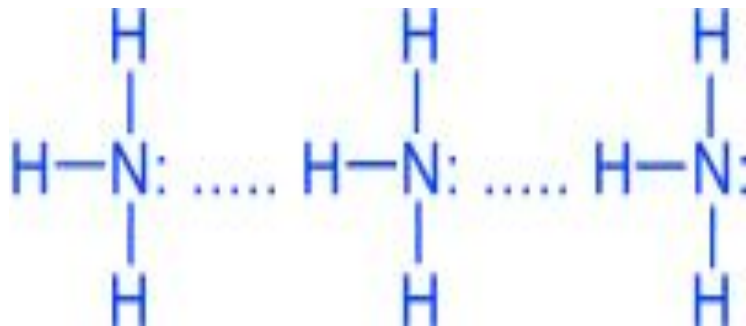
Они могут легко возникать и исчезать в результате тепловых флуктуаций.



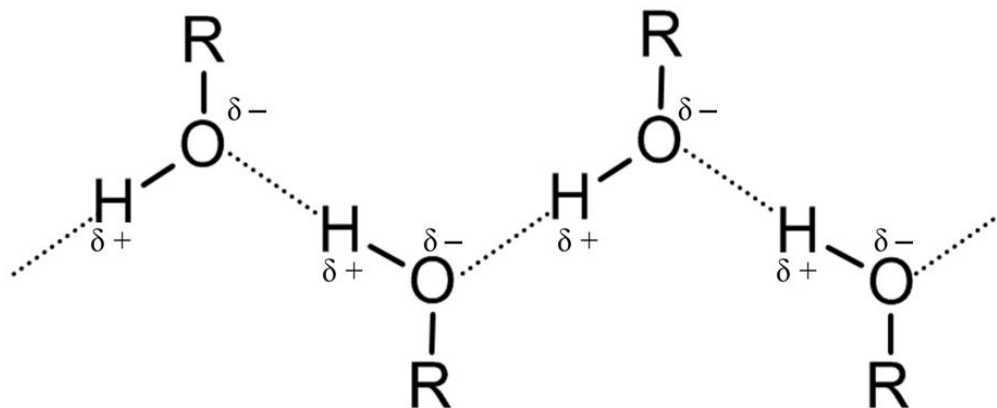
Межмолекулярные водородные связи способствуют образованию кристаллов в виде снежинок или измороси



2) между молекулами аммиака



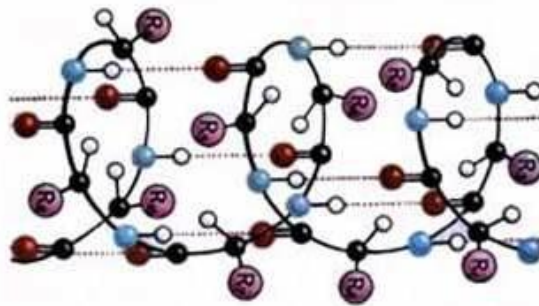
3) между молекулами спиртов



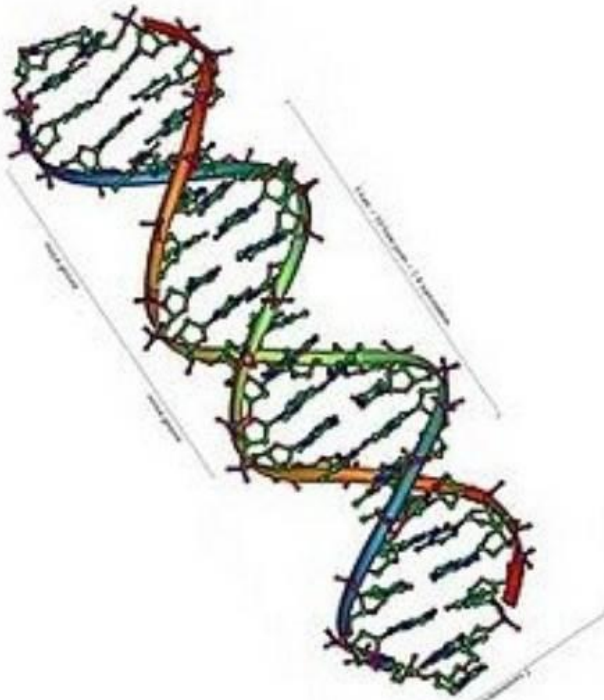
Внутримолекулярная водородная связь

возникает

1) внутри молекул **белков** (водородная связь удерживает витки спирали пептидной молекулы)



2) внутри молекул РНК и ДНК (между азотистыми основаниями каждой спирали



Двойная спиральная структура ДНК определяется в значительной степени наличием **водородных связей**, сцепляющих пары нуклеотидов, которые связывают одну комплементарную нить с другой,

Она определяет основные функции ДНК и РНК (репликация, транскрипция, трансляция)