

*"Чем отличишь ты  
мельчайшую часть от  
Вселенной?"*

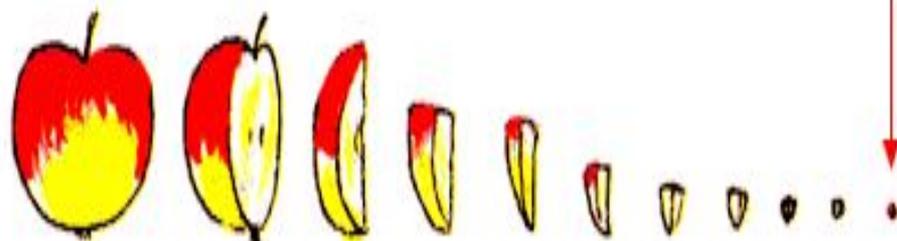
Современные представления о  
структурных уровнях и формах  
окружающего мира

Солодкова Т.М.

## Представления древних о строении вещества



**Демокрит:** существует предел деления яблока – атом



**Аристотель:**

делимость  
вещества  
бесконечна  
(IV в. до н.э.)



Париж. 1626 г. Учение об атомах запрещено под страхом смерти

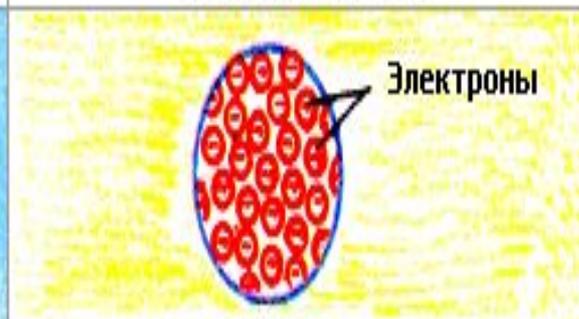
## Различные модели атома

Кельвина, 1902 г.



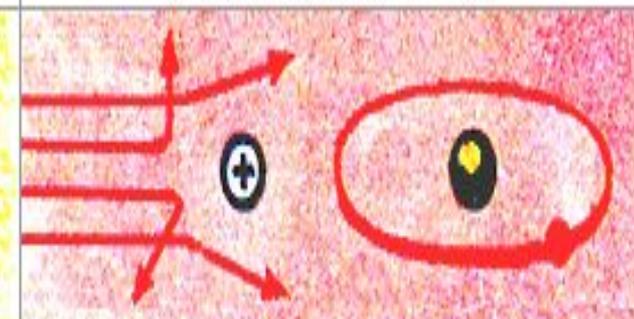
Вихревой атом –  
микроскопическое «колечко дыма»

Томсона, 1903 г.



Равномерно заряженный шар,  
в котором плавают электроны

Резерфорда, 1911 г.



Опыт Резерфорда

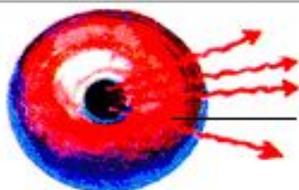
Планетарный атом

## Зарождение учения о квантах

# Зарождение учения о квантах

**Планк, 1900 г. :**  
Свет излучается порциями энергии

$$E = h\nu$$

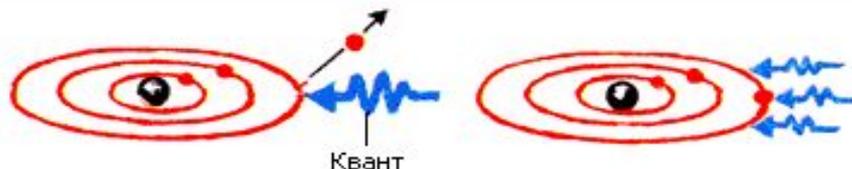


Электромагнитное излучение  
Раскалённая сфера с отверстием

Излучение абсолютно чёрного тела зависит только от его температуры и не зависит от материала

**Эйнштейн, 1905 г. :**

Свет не только излучается, но распространяется квантами



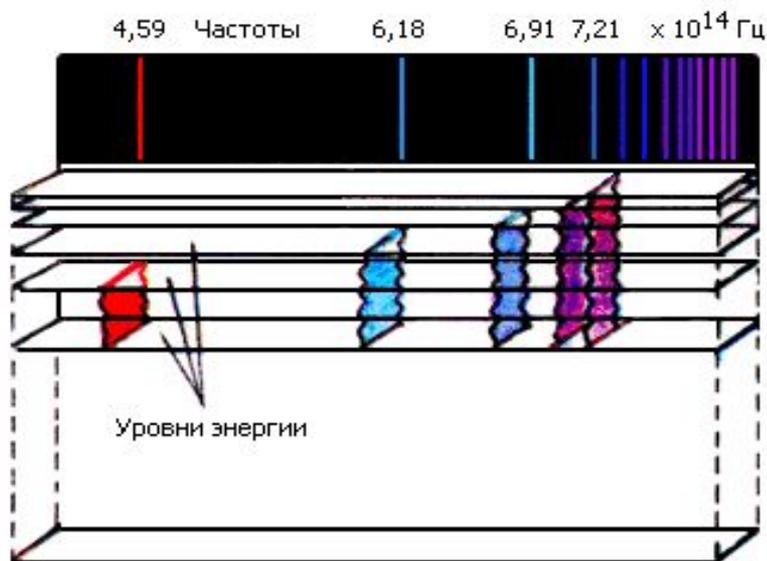
Фотоэффект: энергия выбитых электронов зависит лишь от длины падающего света и не зависит от его интенсивности

**Почему электроны не падают на ядро?**



**Постулаты Бора (1913 г.)**

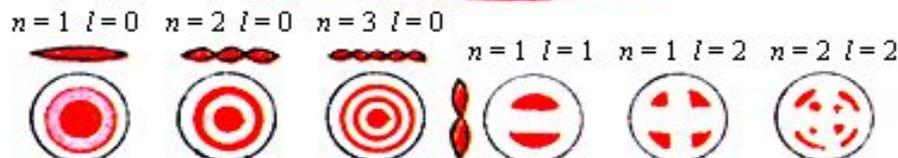
Двигаясь по стационарным орбитам, электрон не излучает.  
Свет испускается только при переходе с одной орбиты на другую.



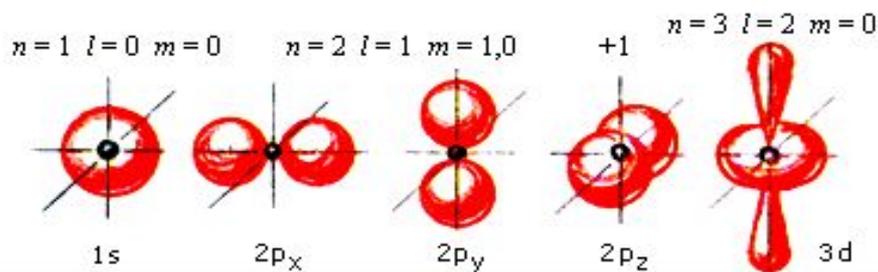
**Электронные волны в атомах**

Уравнение Шредингера, 1926 г.

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + u\right) \Psi = E \Psi$$



Квантовые состояния электрона в атоме



# Какой смысл волновой функции $\Psi$ ?

## Макс Борн: Волны вероятности



У квантовой частицы нет траектории

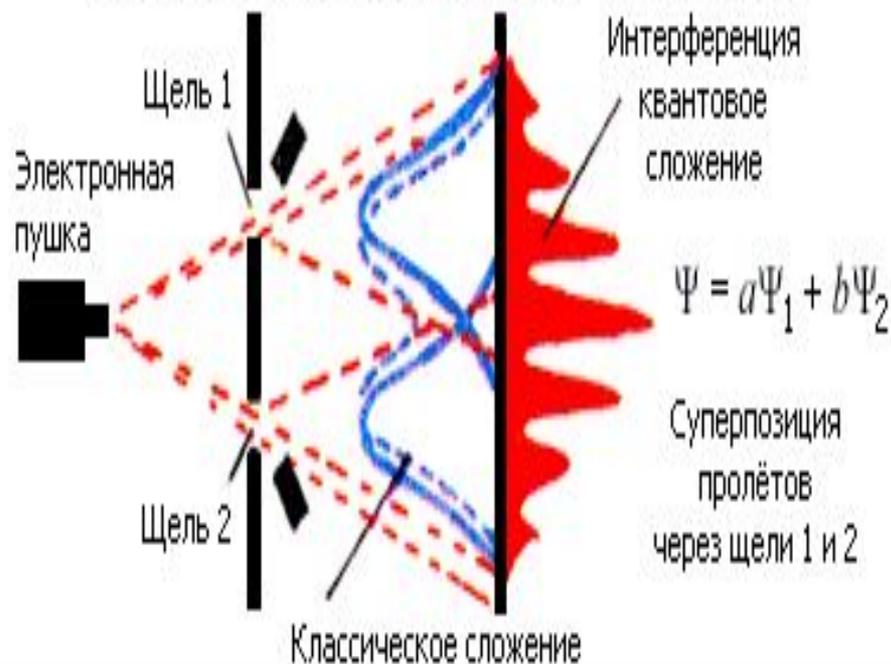
## Принцип неопределённости Гейзенберга



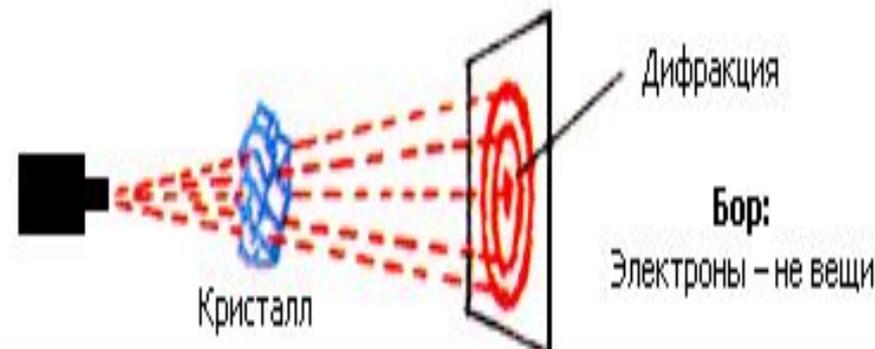
Одновременно точно измерить положение и скорость электрона невозможно

Неопределённость в координате

## Проявление волновых свойств микрочастиц



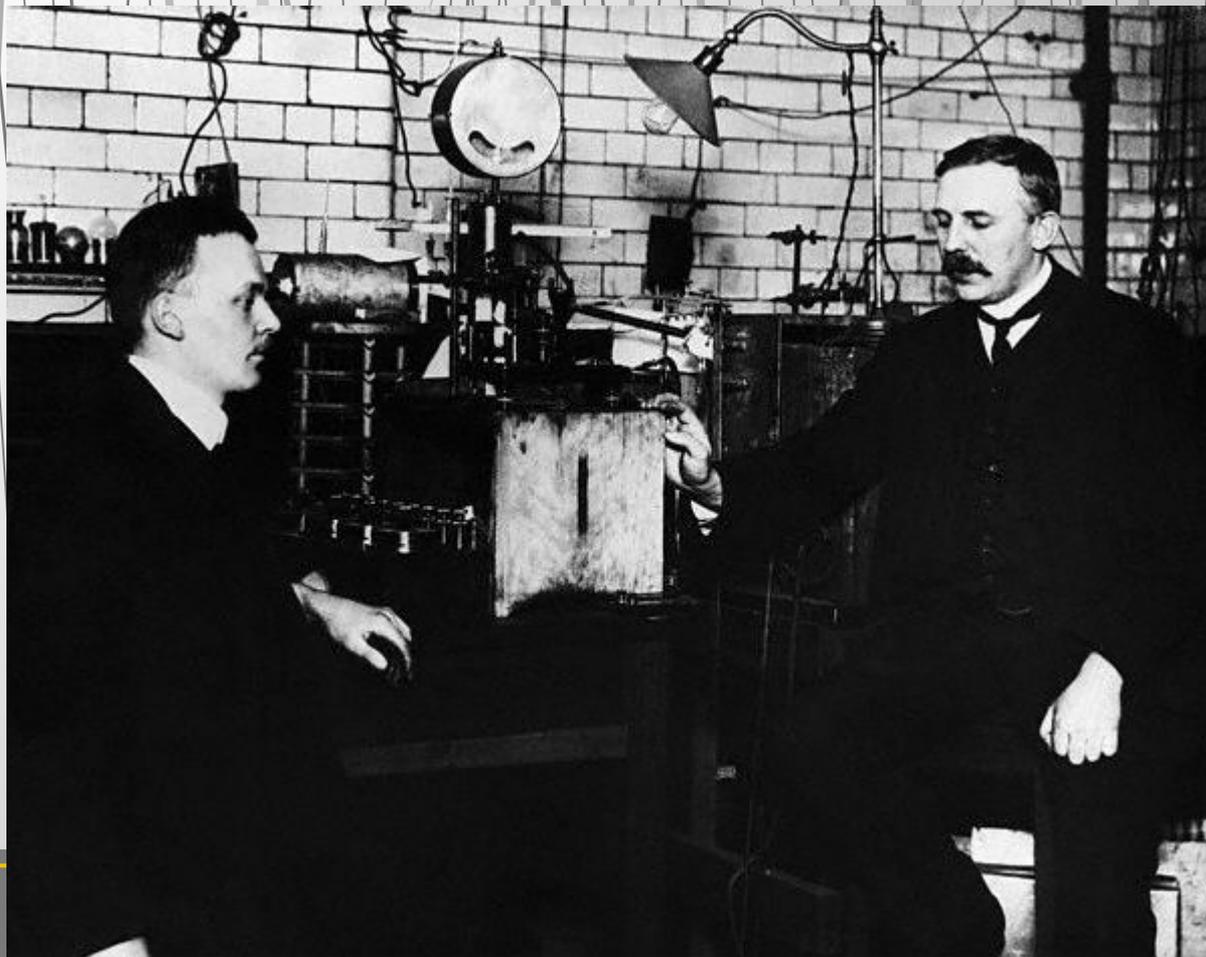
Даже идеальный наблюдатель квантового мира не может его не изменить



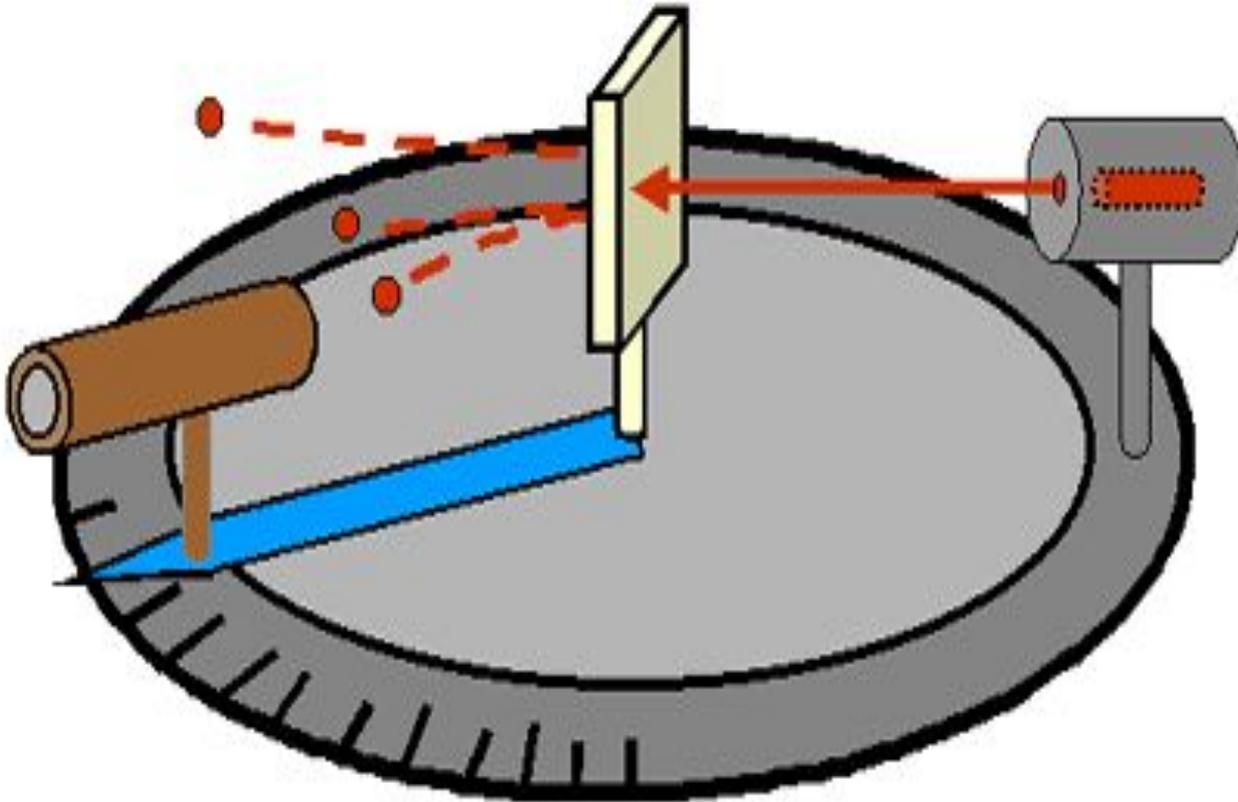
Химические методы воздействий приводили к ионизации молекул и атомов, но не вскрывали его "внутреннее устройство".

Около ста лет назад (1896) А.Беккерель открыл явление радиоактивности. Годом раньше В.Рентген обнаружил таинственные X-лучи, которые просвечивали, например, руку человека и оставляли на фотопластинке силуэты фаланг пальцев.

X-лучи, или рентгеновское излучение представляют собой электромагнитное излучение с энергией в десятки тысяч раз большей, чем у фиолетового светового излучения. Энергия радиоактивного гамма-излучения, всегда сопровождающего альфа- или бета-распад, не менее чем в миллион раз выше энергии светового излучения.



Резерфорд (справа) и Гейгер



## Схема опытов Резерфорда

В 1909 году, по заданию Э.Резерфорда, его сотрудник Г.Гейгер и ассистент Э.Мардсен начали исследования рассеяния альфа-частиц тонкими пленками золота.

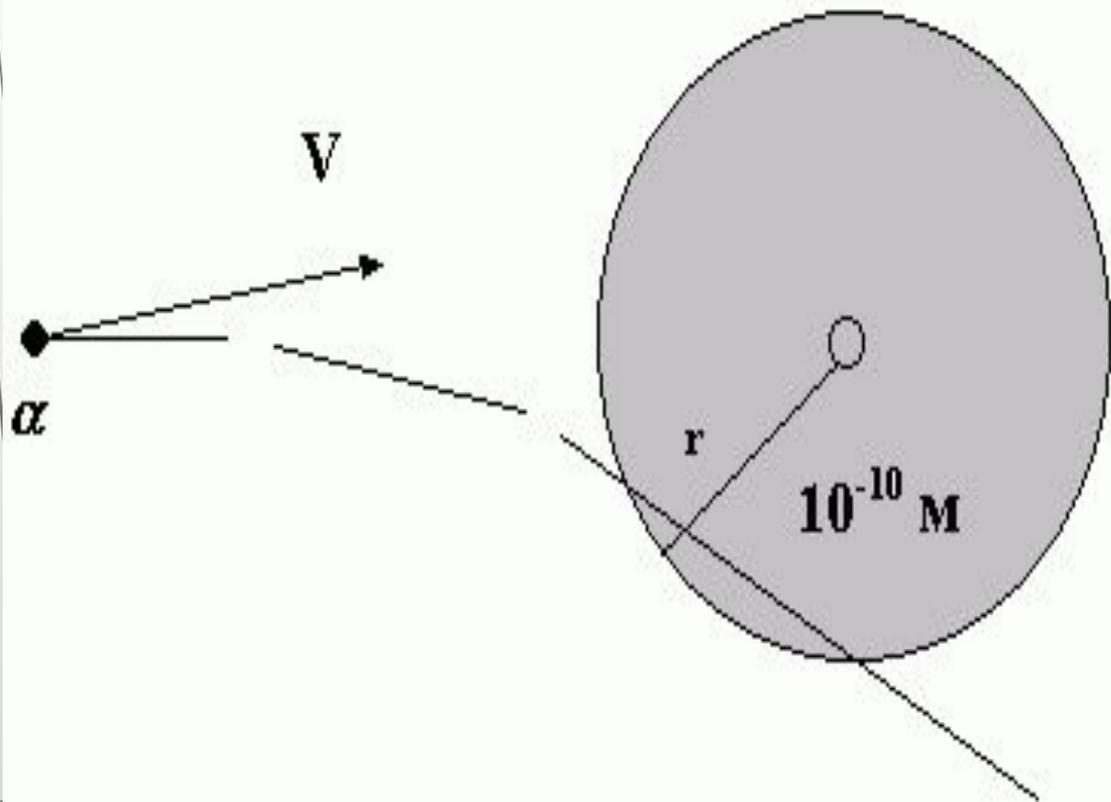


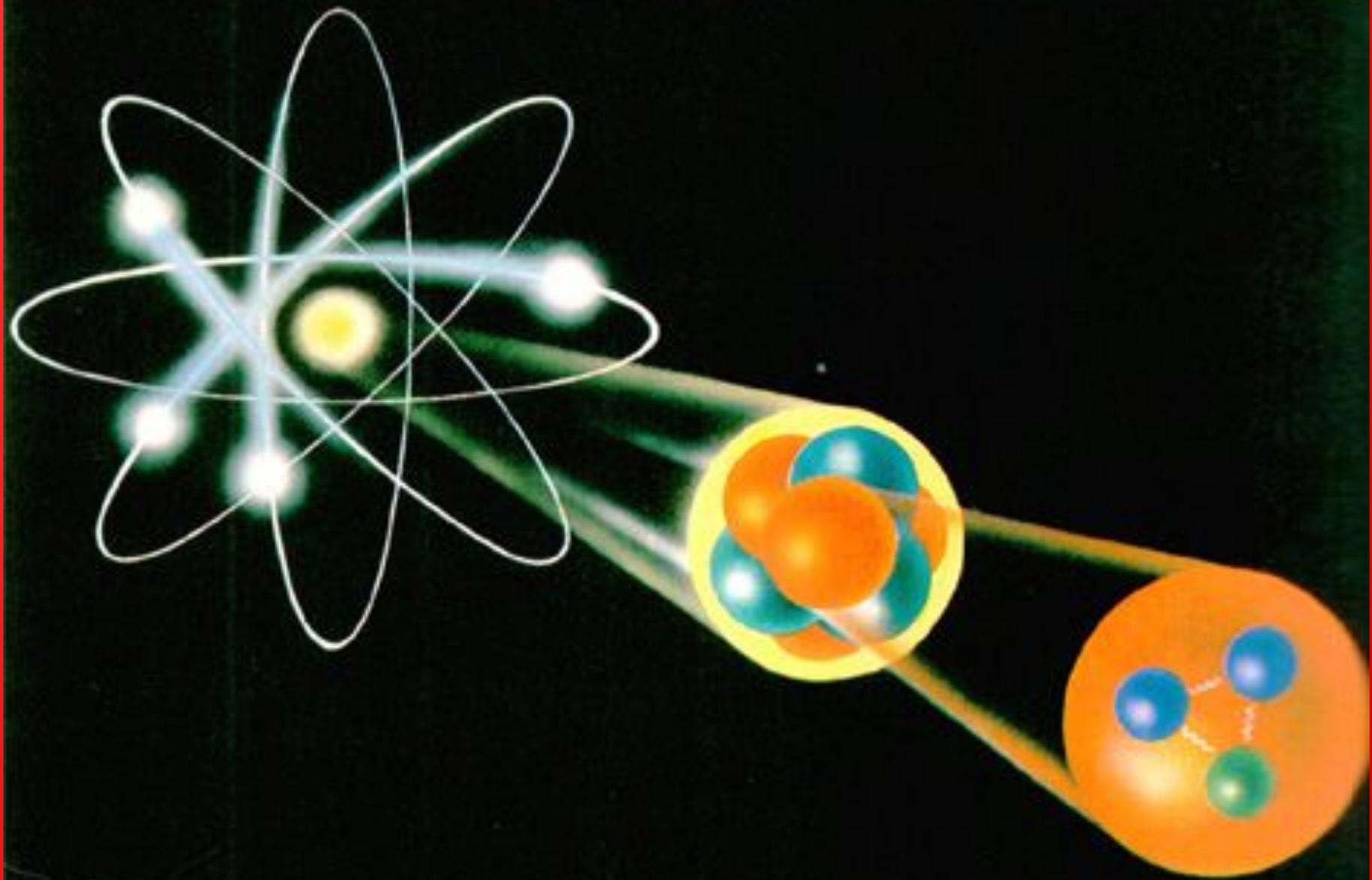
Схема пролета альфа-частицы через атом Томсона



**Модель откриття протона и нейтрона**

Не впадаем ли мы в мистицизм, веря в "кварки, которые не оставляют следов?"

- В классическом естествознании реально существующим объектом считалась частица, которую можно было видеть, которую можно было взвесить, определить объем и т.д. Микробы и другие микроорганизмы были гипотезой до тех пор, пока их не "зафиксировали" в поле зрения микроскопа.



# Три поколения элементарных частиц

## *Кварки*

$u$  - кварк

$c$  - кварк

$t$  - кварк

$d$  - кварк

$s$  - кварк

$b$  - кварк

## *Лептоны*

электрон

мюон

тау -

лептон

электронное нейтрино

мю-

нейтрино

тау-нейтрино

по совокупности косвенных  
"улик".

II

III

В анализе струй (веера) микрочастиц, рождающихся при высоких энергиях ускоренных частиц, можно было рассчитать импульс и энергию индивидуального кварка, определить его массу



# Нильс Бор

# Глюон \от английского glue, что означает клей\

- Сумма импульсов кварков составляла всего около половины полного импульса протона!
- *Глюоны являются частицами глюонного поля.*
- Глюоны несут цвет, как и кварки и могут взаимодействовать не только с кварками, но и между собой.
- Цветовые взаимодействия объединяют в себе хромэлектрическое (кулоновского типа) и хромоманнитное (типа магнитных сил) взаимодействия одновременно.

***Хромозлектрические силы, таким образом, являются самыми большими из всех наблюдаемых в настоящее время сил в природе.***

- Эксперименты, проведенные в 1973 году и позднее в США и в Европейском центре ядерных исследований (CERN) , по рассеянию нейтрино на нуклонах привели к выводам, полностью согласующимся с результатами опытов по рассеянию электронов на протонах. ***С этого времени кварки были признаны реально существующими частицами.***
- Проблема внутренней структуры атома возникла после открытия электрона физиками. История поиска частицы "еще меньшей", чем атом, эксперименты Уильяма Крукса и Дж. Дж. Томсона с "новой лучистой материей" - катодными лучами, описаны в ***КСЕ-хрестоматии*** .

Параллельно с ними проводились опыты по определению заряда ионов в химии.

## Схема прибора Гофмана

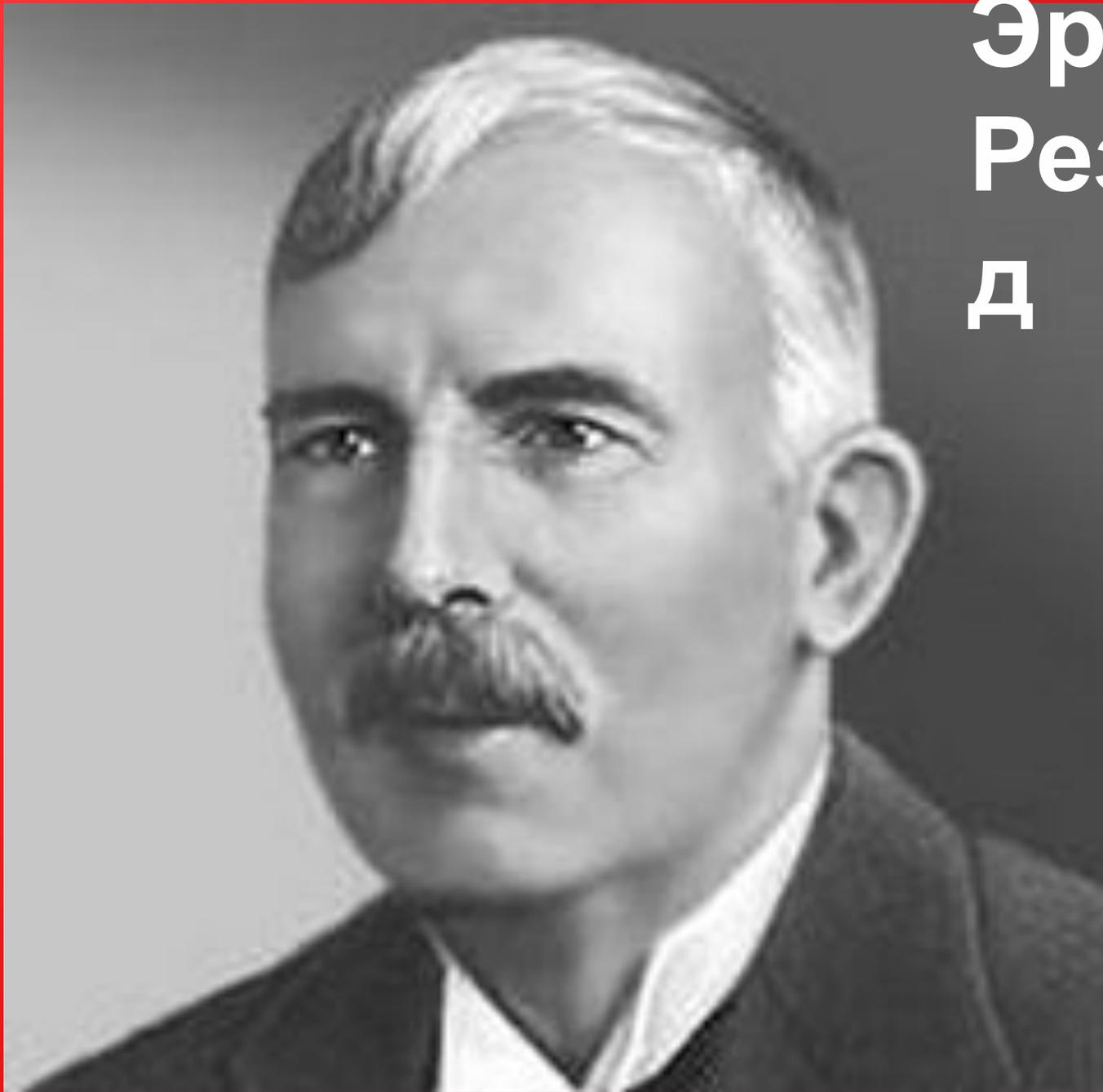
Слабый электролит



При электролизе воды в приборе Гофмана, в одной части сосуда, где помещен отрицательный электрод, выделяется водород. В другой - кислород. Измерив количество прошедшего в цепи электричества и объем водорода, можно рассчитать заряд одного иона

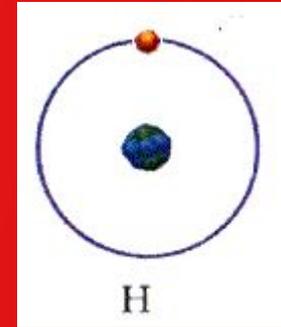
# Строение атома

- В начале XX столетия были высказаны несколько гипотез о внутренней структуре атома.
- При этом все авторы исходили из принципа единства мира и подобия его частей.
- Этот принцип имеет древнее происхождение. Считается что его высказал древнеегипетский мистик Гермес Тримегист фразой "***То, что находится наверху, подобно тому, что находится внизу***".
- Поэтому ожидалось, что объекты микромира могут быть устроены наподобие объектов



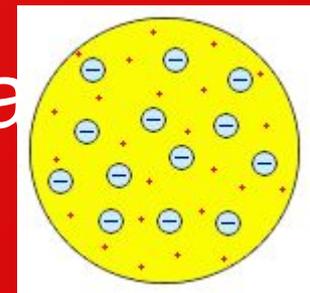
**Эрнест  
Резерфор  
д**

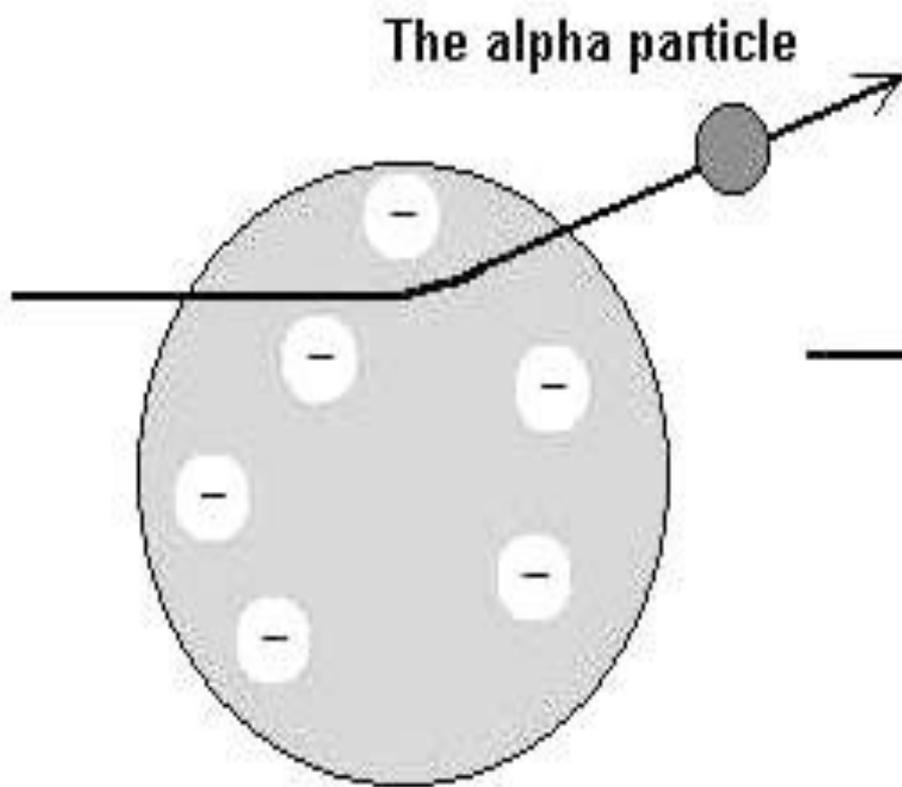
- Нуклеарно-планетарная модель Ж.Перрена была аналогом Солнечной системы.



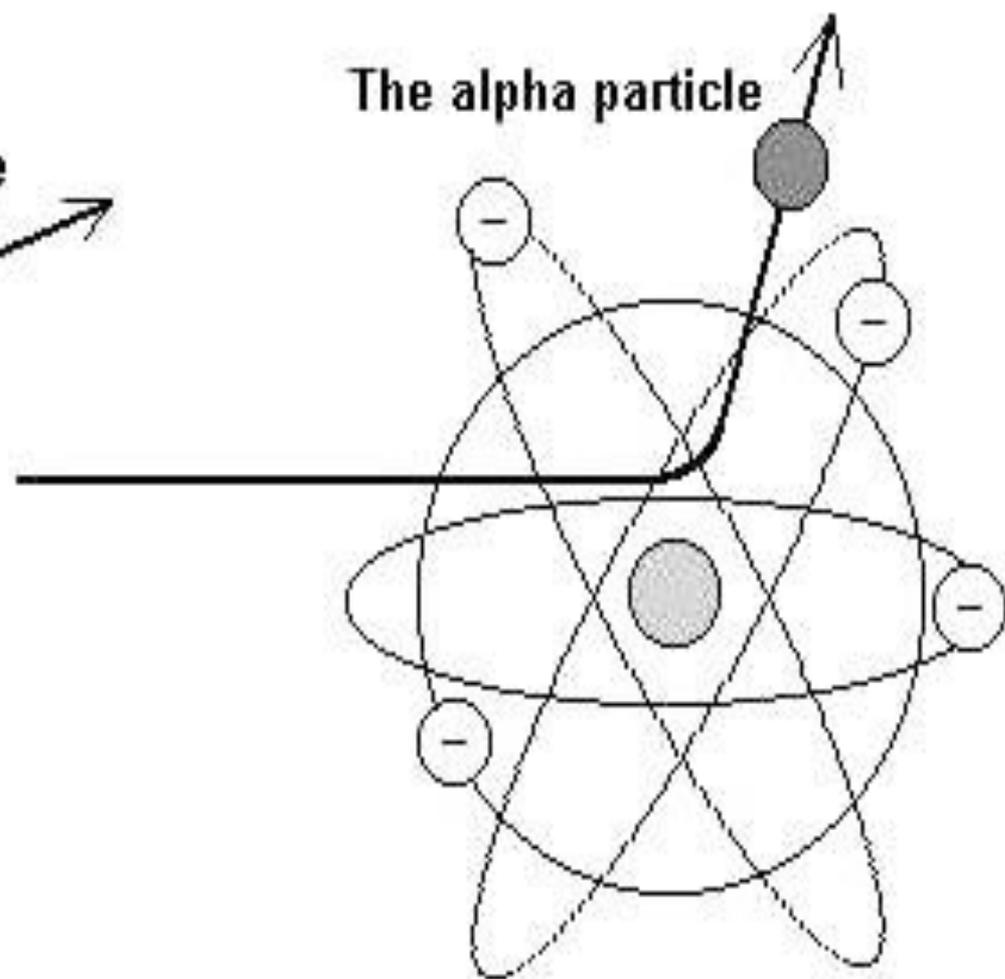
- Планета Сатурн с кольцами его спутников послужила основой модели Х.Нагаока.

- В модели Дж.Дж.Томсона электроны находятся в самом облаке положительного заряда наподобие изюминок в кексе.



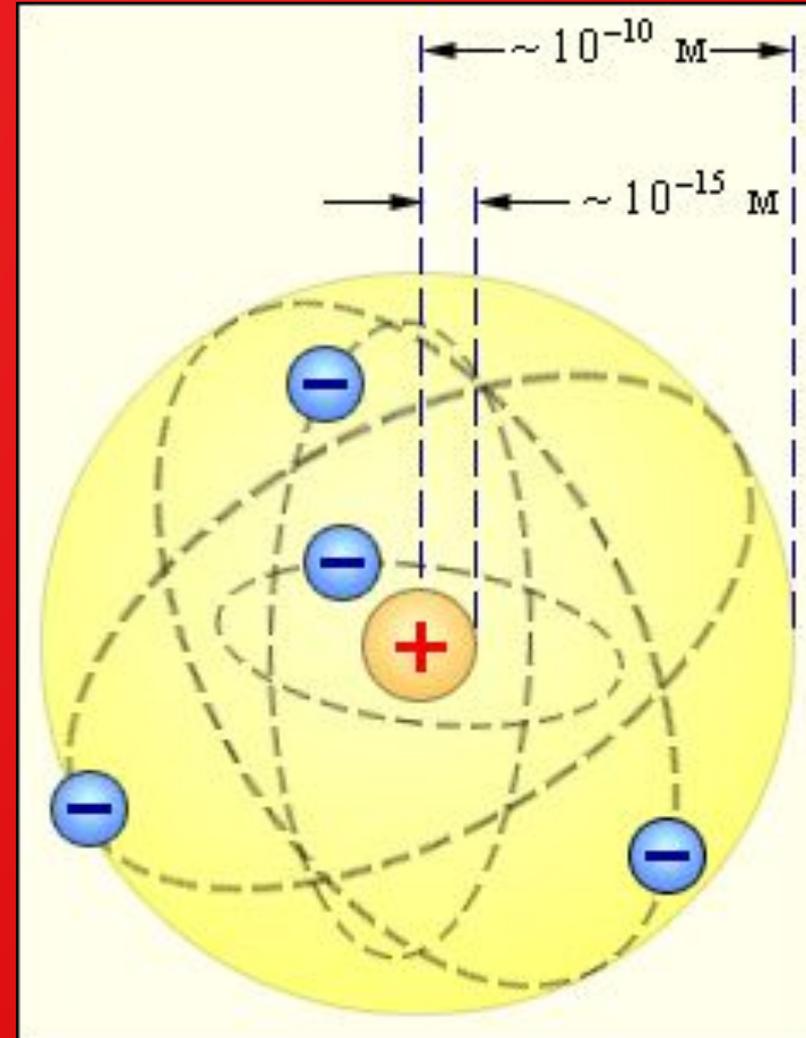


Thomson's model of atom



Rutherford's model of atom

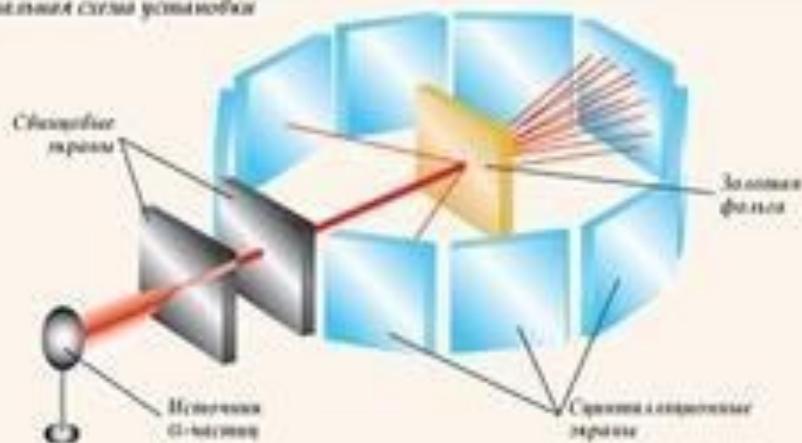
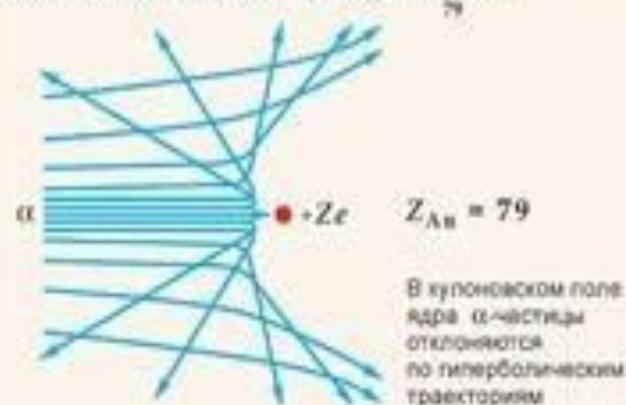
# Модель атома Резерфорда



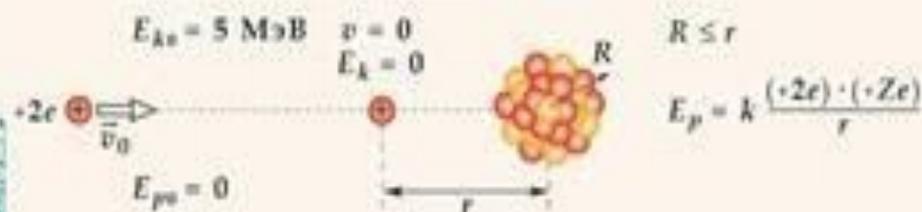
## 6. ПЛАНЕТАРНАЯ МОДЕЛЬ АТОМА. ОПЫТ РЕЗЕРФОРДА

## ОПЫТ РЕЗЕРФОРДА

Принципиальная схема установки

Рассеяние α-частиц атомными ядрами  $^{197}_{79}\text{Au}$ 

## ОЦЕНКА РАДИУСА ЯДРА



Закон сохранения энергии

$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p \quad E_{k0} = k \frac{2e \cdot Ze}{r} \Rightarrow r = \frac{2kZe^2}{E_{k0}} = 23 \text{ фм}$$

## НЕПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПЛАНЕТАРНОЙ МОДЕЛИ АТОМА



Падение электрона на ядро вследствие его торможения при излучении

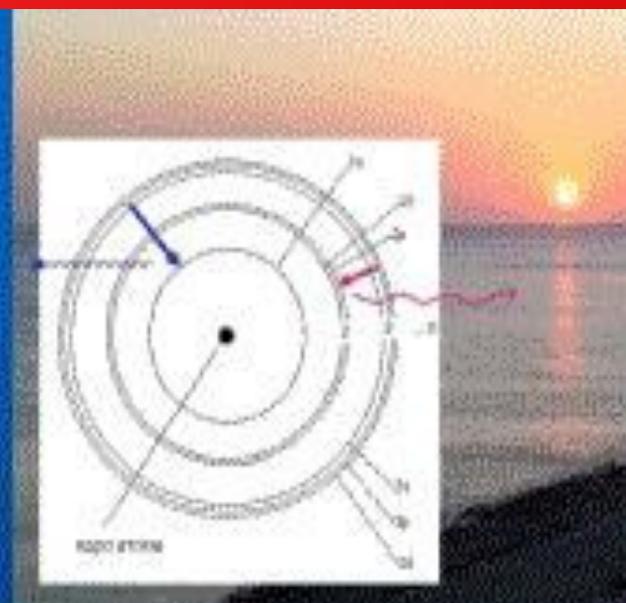
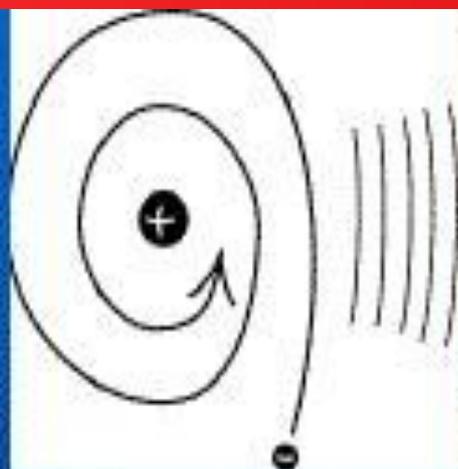
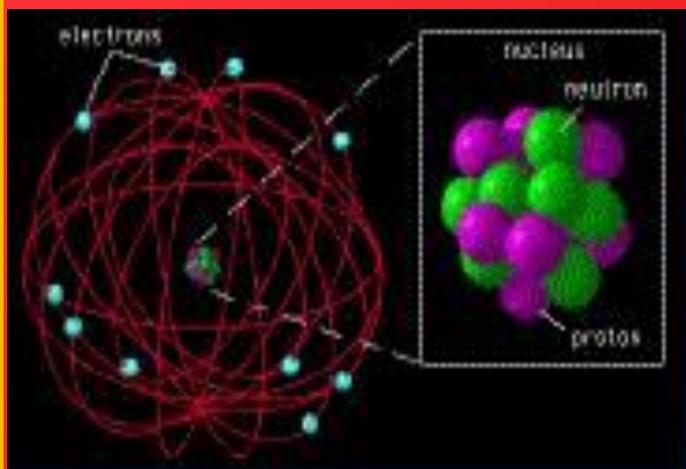
**В начале XX века, после опытов Резерфорда, принцип Гермеса Тримегиста, казалось, получил физическое подтверждение. Невольно возникали ассоциации с куклой - матрешкой, где в одной оболочке оказывается помещенной другая, подобная по форме, но меньшего размера, в ней следующая, и так далее. Может быть в природе нет конца этой лестнице *ни вверх, ни вниз***

***По современным данным принцип матрешки не состоятельный.***

**Ядерно-планетарная модель, обоснованная Резерфордом, явилась большим достижением классического атомизма. Одновременно она показала недостаточность классической физики Ньютона - Максвелла для полного описания свойств атома.**

*"Быть может эти электроны -  
Миры, где пять материков ,  
Искусства, знанья, 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.  
Их меры малы, но все та же  
их бесконечность, как и здесь;  
Там скорбь страсть, как здесь и  
даже  
Там та же мировая спесь.  
Их мудрецы, свой мир  
бескрайний  
Поставив центром бытия*

**Валерий  
Яковлевич  
Брюсов  
"Мир  
электрона"**



Классическая  
электродинамика

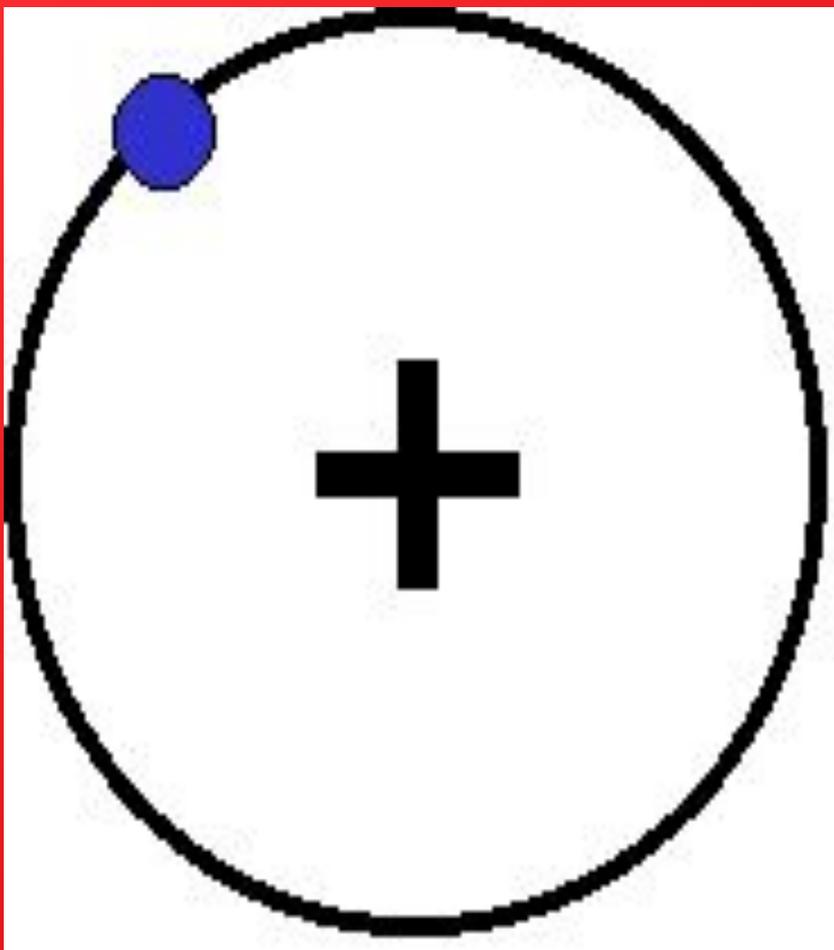
Стационарные  
состояния



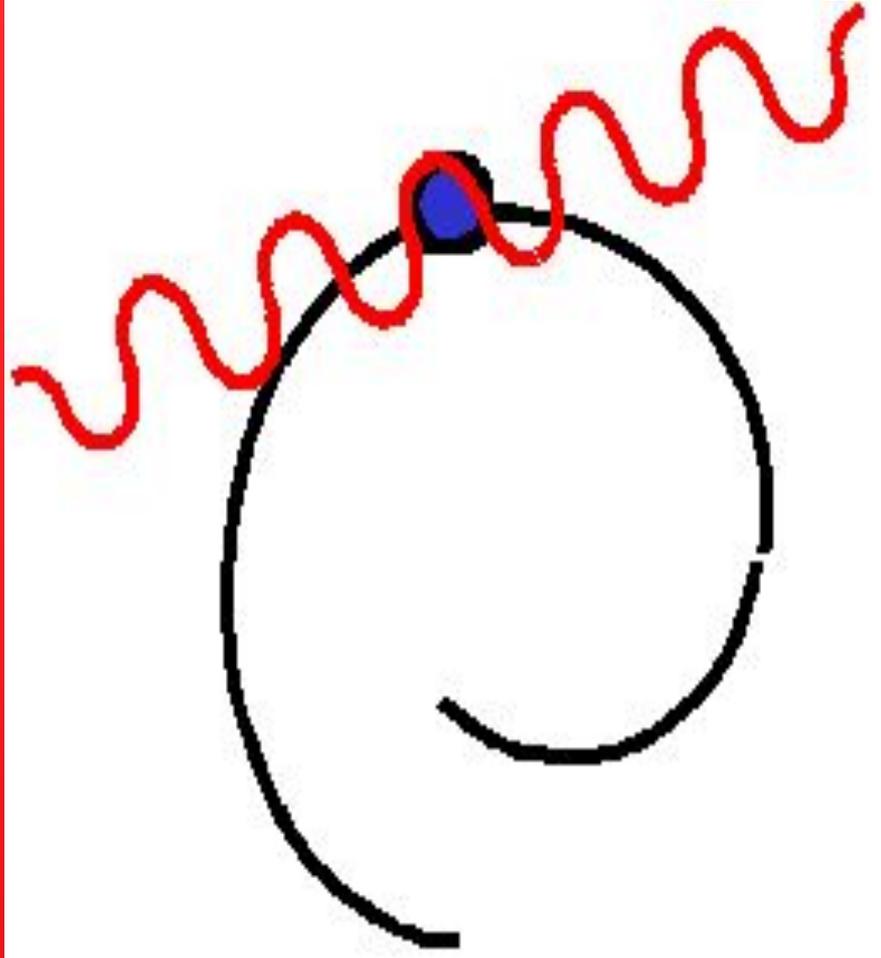
Стоячие волны  
(де Бройль)

**Теорема (Дайсон-Ленард, Либ)**  
Стабильность материи следует из:  
Закон Кулона + уравнение Шредингера  
+ ферми-статистика (принцип Паули)

# Новая концепция атома - квантово-механической



- *Классическая механика рассматривает электрон как материальную частицу, траектория которой при движении в атоме представляет собой замкнутую кривую второго порядка, например - окружность. Условием нахождения электрона на круговой орбите является равенство кулоновской силы притяжения его к ядру центростремительной силе*



- **Классическая электродинамика** утверждает, что при движении с ускорением (в том числе - центробежным) любая заряженная частица является источником электромагнитных волн. Мощность излучения пропорциональна четвертой степени ускорения. При той величине ускорения, которое действует (по классической механике) на электрон в атоме, он должен излучить всю свою энергию за время порядка  $10 \text{ нс} = 10^{-8} \text{ с}$ .

## Постулаты Бора:



1. Утверждается существование стационарных состояний для которых процесс излучения энергии запрещен.
2. Вводится правило отбора для нахождения стационарных состояний атома. Это правило состоит в приравнивании допускаемых значений для механического момента импульса движения электрона по орбите целочисленному ряду значений

$$L = m V r = n h / 2 \pi$$

где  $n$ -целое : 1,2,3,... (1.3)

3. Разрешается процесс электромагнитного излучения или поглощения света при переходах между двумя стационарными состояниями.

- Постулаты Бора введены *эвристически*: идея сформулирована в надежде, что потом удастся понять, почему не любые по размерам и энергетическим состояниям орбиты реализуются в атомах.

# Модель стоячей волны Дебройля

$$2\pi r = n\lambda \quad (1.5).$$



$$\lambda = \frac{h}{mV}$$

- *Две когерентные волны движутся навстречу и образуют стоячую волну. Стоячая волна не переносит энергию и состояние стационарно.*
- *В приведенных формулах обозначены:  $m$  - масса,  $V$  - скорость,  $n$  - целое число,  $r$  - радиус орбиты Бора,  $\lambda$  - длина волны Дебройля,  $h$  - постоянная Планка.*