

Тема

Атом водорода по теории Бора.

1. Закономерности в атомных спектрах.

2. Ядерная модель атомов.

3. Элементарная теория Бора.

4. Опыт Франка и Герца.

Атомная физика - это наука об электронном строении вещества. Она призвана объяснить его макроскопические свойства на базе микроскопического подхода.

Школа древнегреческих атомистов

Идея атомизма

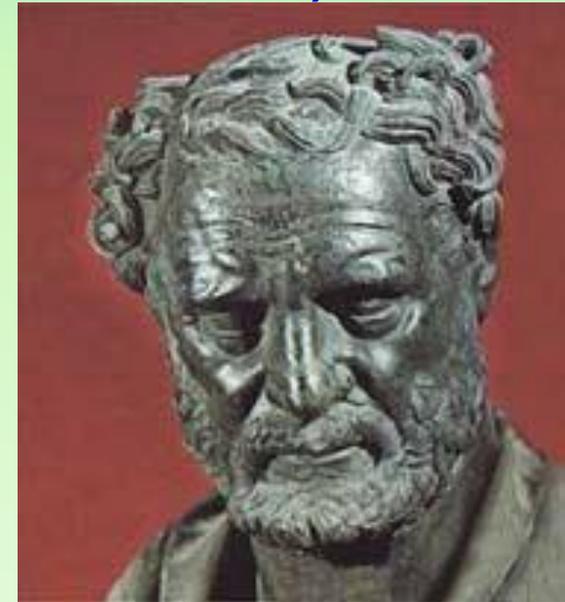
Левкипп
(V в. до н.
э.)

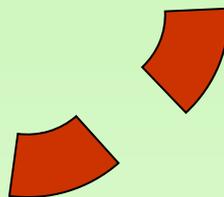
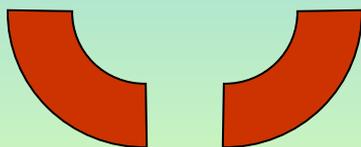
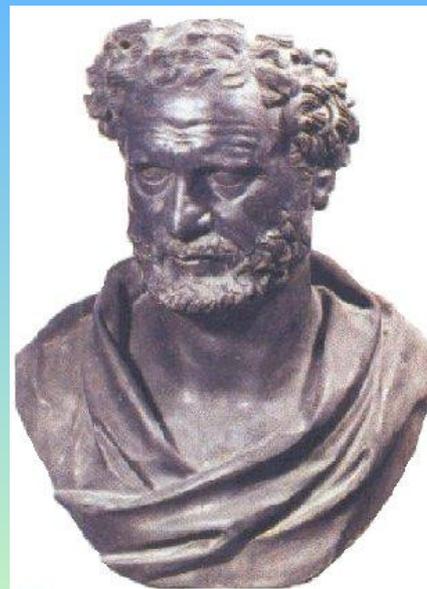
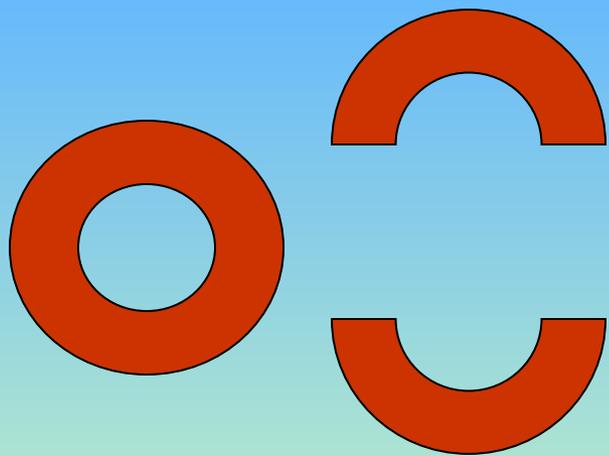


(Аτομος –
«неделимый»):

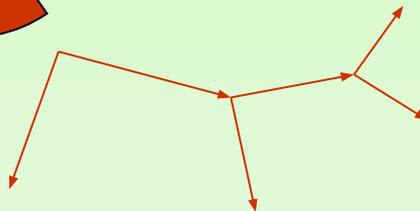
- Нет ничего кроме атомов и пустоты
- Число атомов и их форм бесконечно
- Из ничего не происходит ничего
- Ничто не совершается случайно, но по необходимости.
- Различие между вещами происходит от различия их атомов

Демокрит
(ок.460-
ок.370 до н.
э.)

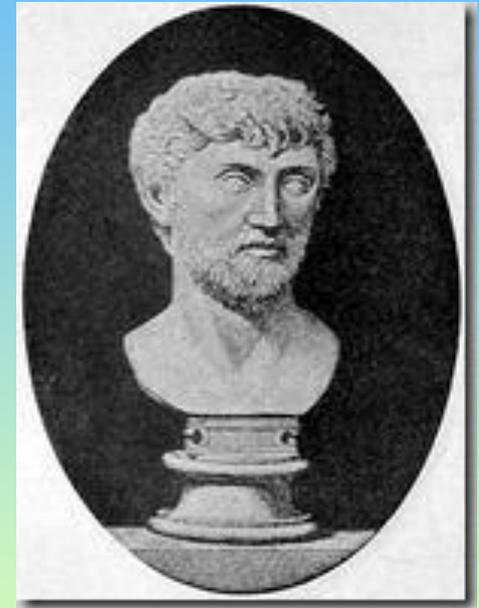




Легенда о яблоке



**Тит
Лукреций Кар
(ок.99-55 до н.э.)
автор книги
«О природе вещей»**



**«... остаётся признать неизбежно
Существование того, что совсем
неделимо, являясь
По существу наименьшим.»**

Закономерности в атомных спектрах.

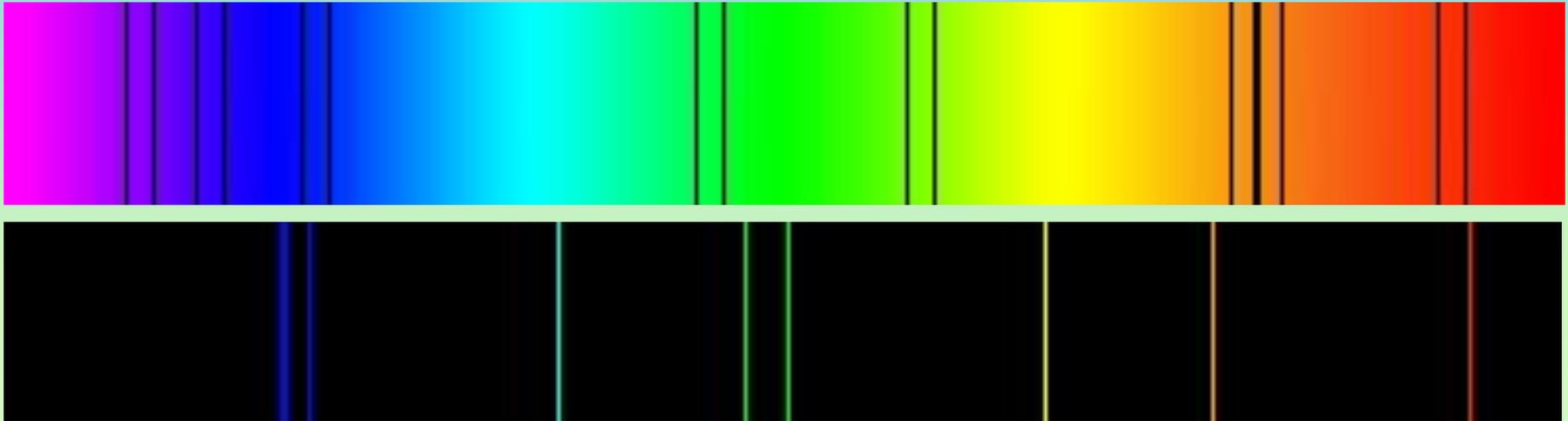
Итак, что же такое атом?

Изолированные атомы в виде разреженного газа или паров металлов испускают спектр, состоящий из отдельных спектральных линий (линейчатый спектр). Изучение атомных спектров послужило *ключом к познанию строения атомов.*

Прежде всего было замечено, что линии в спектрах расположены не беспорядочно, а сериями. Расстояние между линиями в серии закономерно уменьшается по мере перехода от длинных волн к коротким.

Линейчатые спектры испускания и поглощения света. Спектральные серии

Линейчатые спектры дают все вещества **в газообразном атомарном состоянии**. Изолированные атомы излучают строго определенные длины волн.



Линейчатые спектры в видимой области: Спектр поглощения и спектр излучения.

Линейчатые спектры испускания и поглощения света.

Спектральные серии



Иоганн Бальмер

Бальмер (Balmer) Иоганн Якоб (1825–1898). Швейцарский физик и математик. Родился в Лозанне. Учился в Базеле, Карлсруэ, Берлине.

В 1849 получил степень доктора в Базельском университете. С 1859 преподавал в средней школе, а в 1865–90 – в Базельском университете.

Обнаружил закономерность в спектральных линиях атома водорода, показав в **1885 г.**, что длины волн линий видимой части спектра атома водорода связаны между собой простой **зависимостью (формула Бальмера)**, которая дает возможность определить длины волн всех линий этой водородной **серии (серия Бальмера)**. Это открытие послужило толчком для обнаружения других серий в спектре атома водорода – серий Лаймана, Пашена, Брэкетта и Пфунда. Был пионером в изучении структуры атома.

Линейчатые спектры испускания и поглощения света. Спектральные серии.

Формула Бальмера
(первоначальный вид):

$$\lambda = b \frac{k^2}{k^2 - 4}$$

Линия	λ , А (измерено Ангстремом)	λ , А (вычислено Бальмером)	k
<i>C</i>	6562,10	6562,08	3
<i>F</i>	4860,74	4860,8	4
<i>G</i>	4340,1	4340,0	5
<i>H</i>	4101,2	4101,3	6

Бальмер установил, что длины волн серии в видимой части спектра водорода могут быть представлены формулой (*формула Бальмера*):

$$\lambda = \lambda_0 \frac{n^2}{n^2 - 4} \quad \lambda_0 = \text{const}, n = 3, 4, 5, \dots$$

$$\frac{1}{\lambda} = R' \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{или} \quad \omega = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$R' = 1,09 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ – *постоянная Ридберга*, $n = 3, 4, 5, \dots$

В физике *постоянной Ридберга* называют и другую величину равную $R = R' \cdot 2\pi c$.

$$R = 2,07 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}$$

Дальнейшие исследования показали, что **в спектре водорода имеется еще несколько серий:**

Серия Лаймона	$\omega = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 2, 3, 4, \dots$
Серия Пашена	$\omega = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 4, 5, 6, \dots$
Серия Брэкета	$\omega = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 5, 6, 7, \dots$
Серия Пфунда	$\omega = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 6, 7, 8, \dots$

Обобщенная *формула Бальмера*

$$\omega = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

или

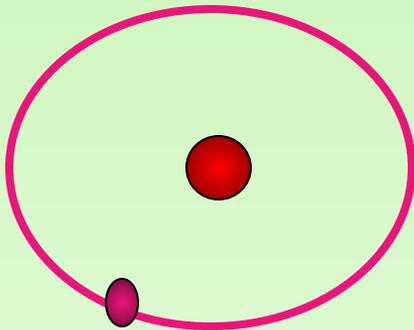
$$\frac{1}{\lambda} = R' \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$, $n = k + 1, k + 2, \dots$

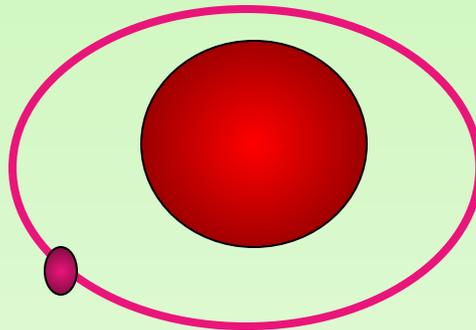
Атом сложная система, имеющая сложный спектр



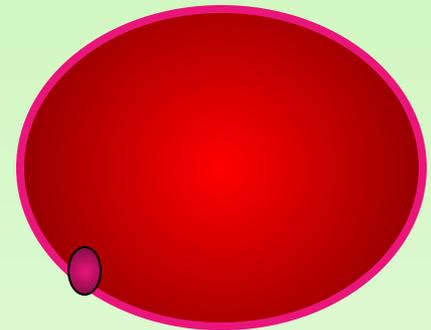
**Были предложены
различные модели
строения атома.**



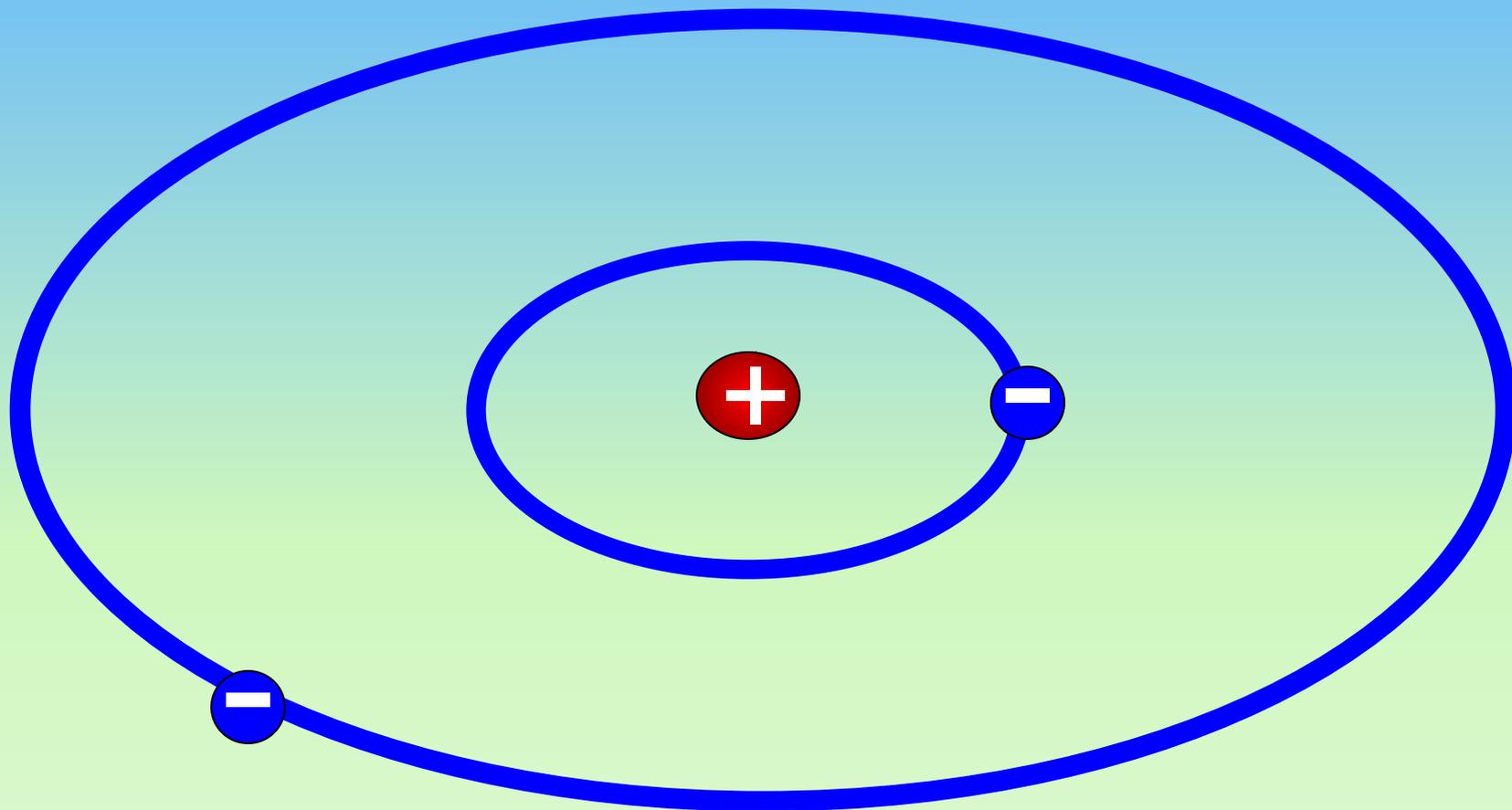
1



2

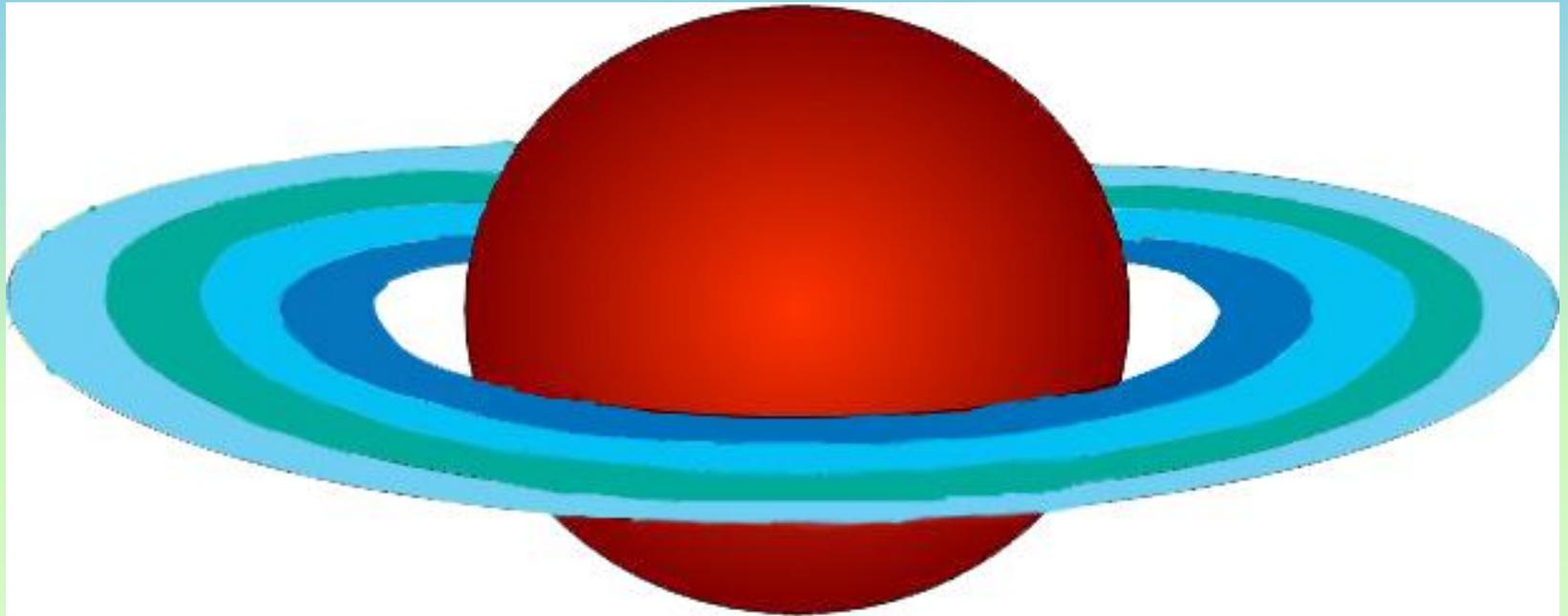


3



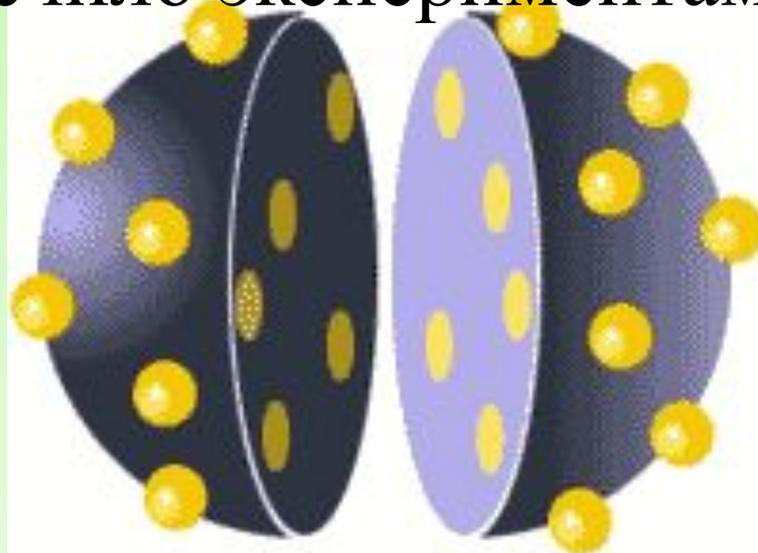
**Модель Ж. Перрена
(1901)**

Модель Х. Нагаоке (1904)



Следующий шаг - «сатурноподобная» модель Нагаоке. Здесь электроны - кольца вокруг положительно заряженного тела.

В 1903 году Дж. Дж. Томсон, предложил модель атома: сфера, равномерно заполненная положительным электричеством, внутри которой находятся электроны. Суммарный заряд сферы равен заряду электронов. Атом в целом нейтрален. Теория такого атома давала, что спектр должен быть сложным, но никоим образом не линейчатым, что противоречило экспериментам.

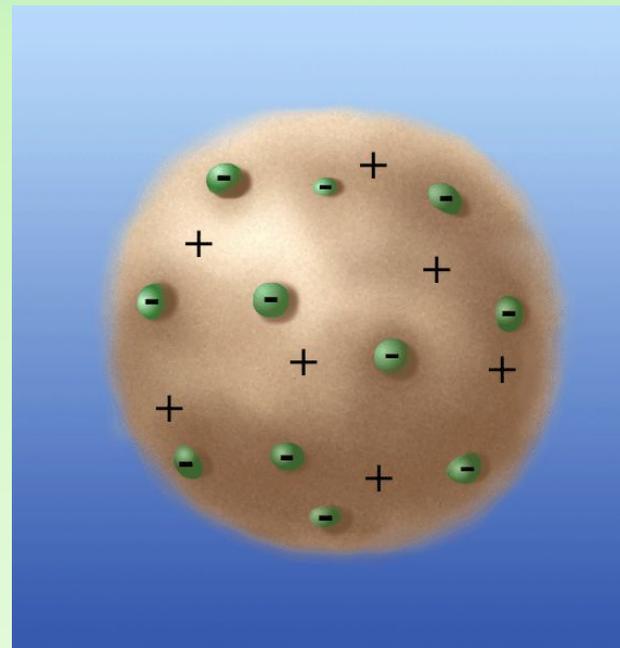


Пудинговая модель

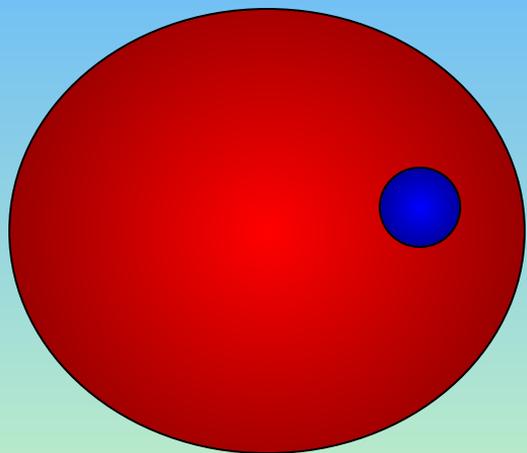
Джозеф-Джон Томсон (1856-1940) - английский физик, Нобелевская премия 1906 г. по физике за работы, которые привели к открытию электрона.

В 1884-1919 гг. Томсон - профессор Кембриджского университета и руководитель Кавендишской лаборатории. С 1918 г. и до конца жизни - ректор Тринити-колледжа.

Предложил модель строения атома.



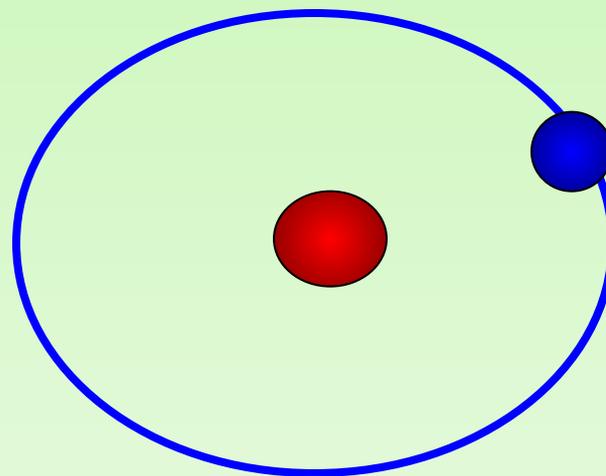
АТОМ



Какая

из моделей

верна?



Планетарная модель атома - Эрнест Резерфорд

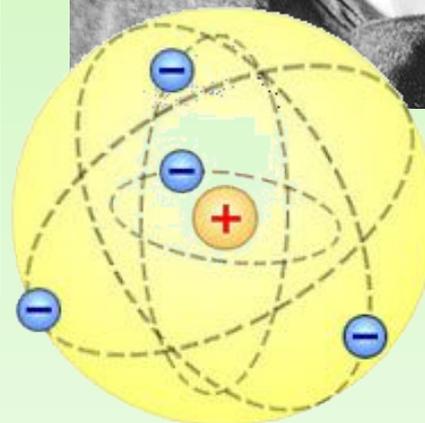
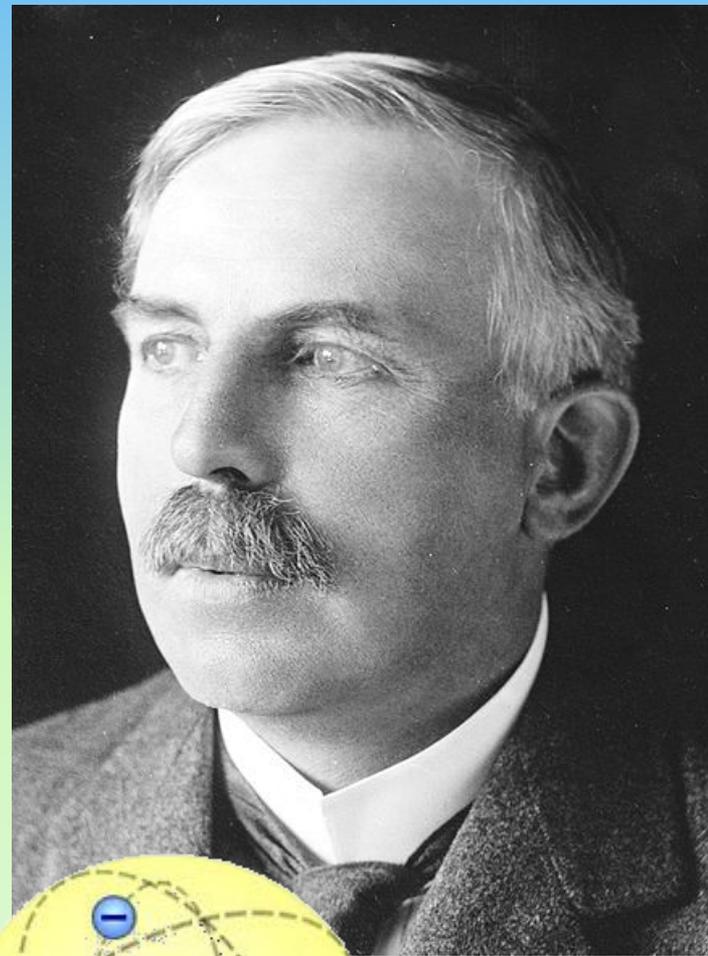
Эрнест Резерфорд (1871 - 1937).

Лауреат Нобелевской премии по химии
1908г.

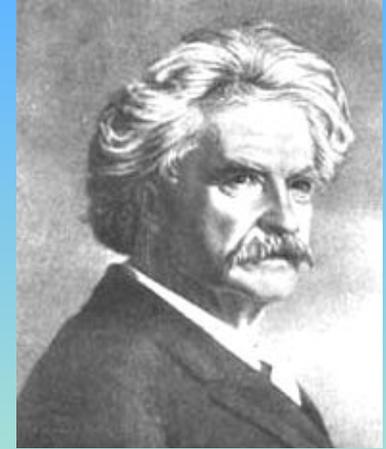
«За проведенные им исследования в области распада элементов в химии радиоактивных веществ».

Открыл альфа- и бета-излучение.
Открыл и объяснил радиоактивное превращение химических элементов,
создал теорию **радиоактивного распада.**

Предложил и экспериментально обосновал планетарную модель атома.



Планетарная модель атома



Планетарная модель атома – Эрнест Резерфорд (1909).
Из экспериментов по рассеянию α - частиц были получены доказательства существования массивного ядра малого размера.

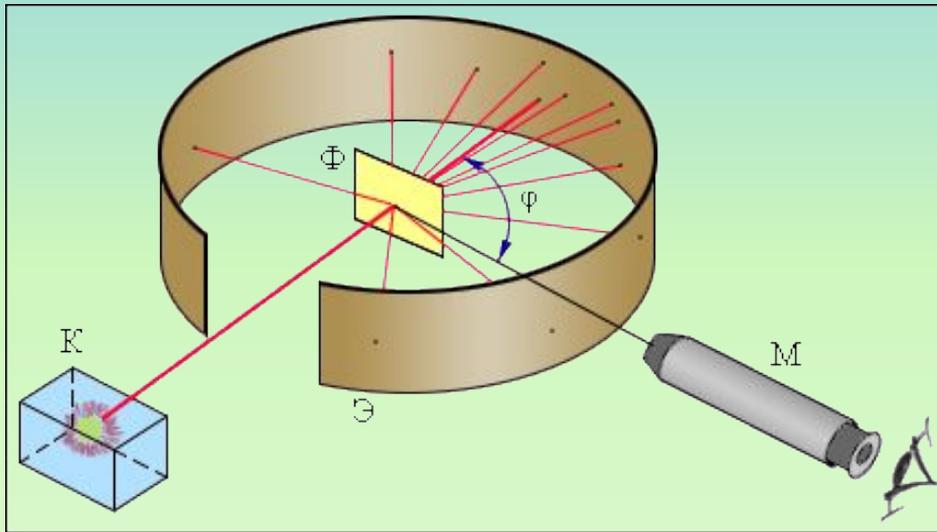
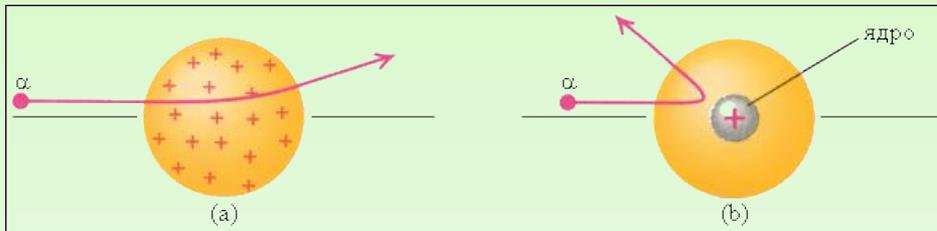
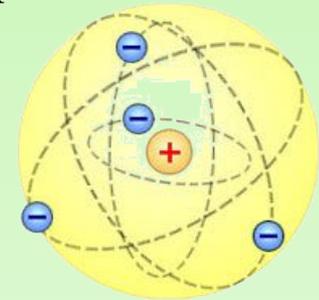


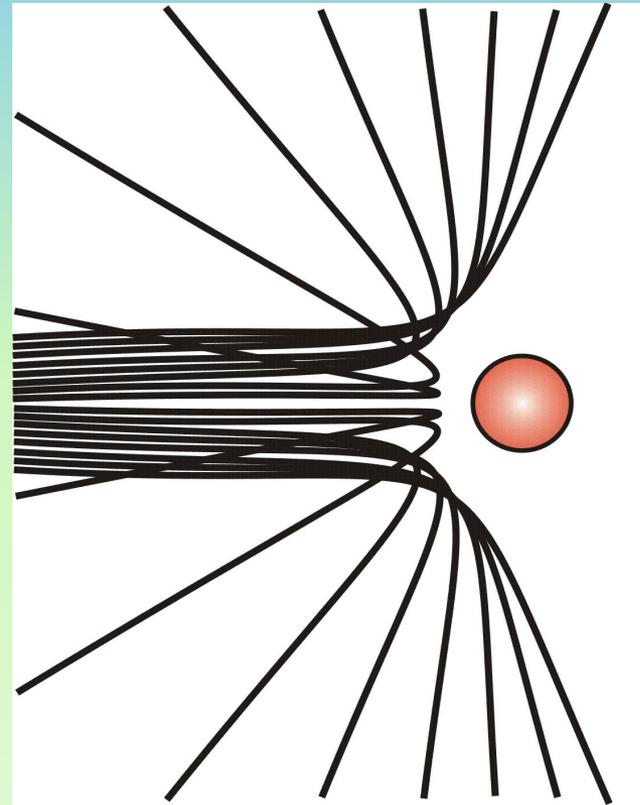
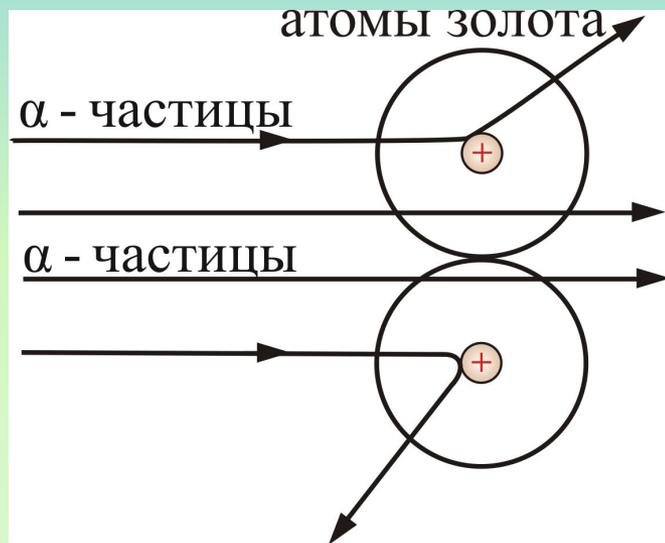
Схема опыта Резерфорда по рассеянию α -частиц.
К – свинцовый контейнер с радиоактивным веществом,
Э – экран, покрытый сернистым цинком,
Ф – золотая фольга,
М – микроскоп



Рассеяние α -частицы
в атоме Томсона (а)
и в атоме Резерфорда (b).

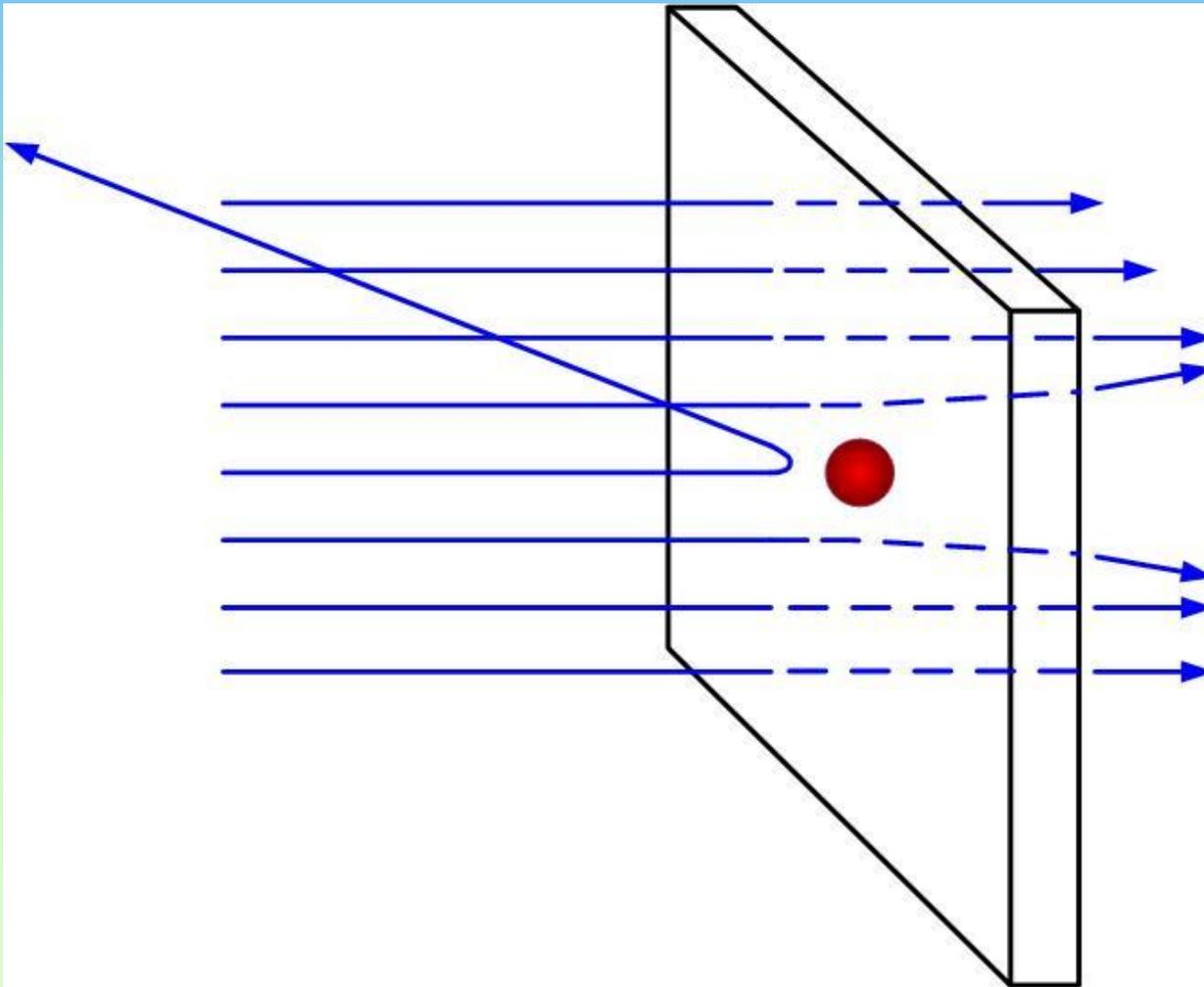
Большинство α -частиц рассеивалось на углы порядка 3°

Отдельные α -частицы отклонялись на большие углы, до 150° (одна из $\approx 10^4$ α -частиц)



Такое отклонение возможно лишь при взаимодействии практически точечного положительного заряда – **ядра атома** – с близко пролетающей **α -частицей**.

Рассеяние α -частиц золотой фольгой



Единственным правдоподобным объяснением рассеяния α -частиц на большие углы было наличие массивного, хотя и очень малого положительно заряженного тела внутри атома.

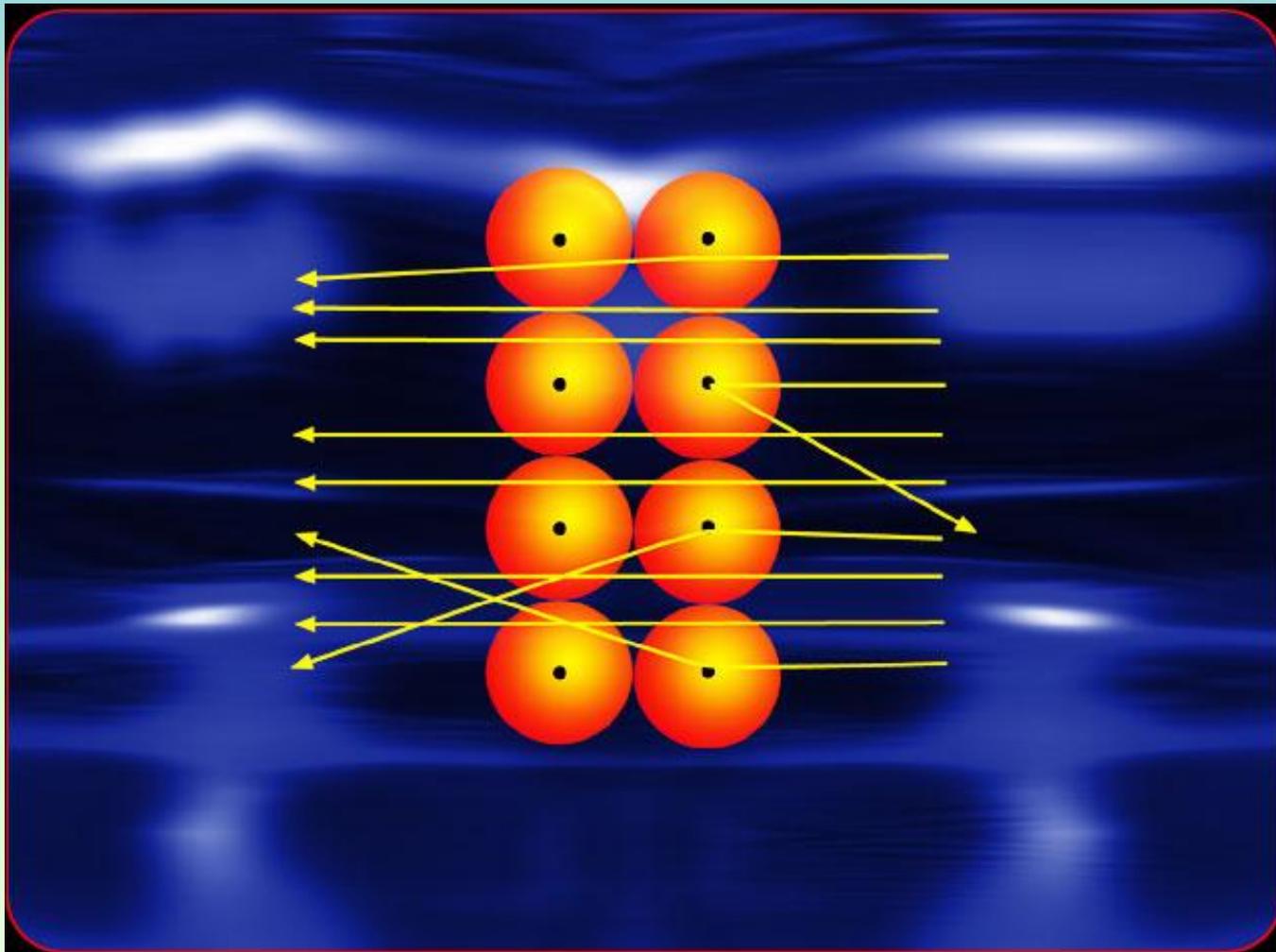
В конце 1910 года Резерфорд сказал Гейгеру: «Я знаю, как **ВЫГЛЯДИТ** атом».

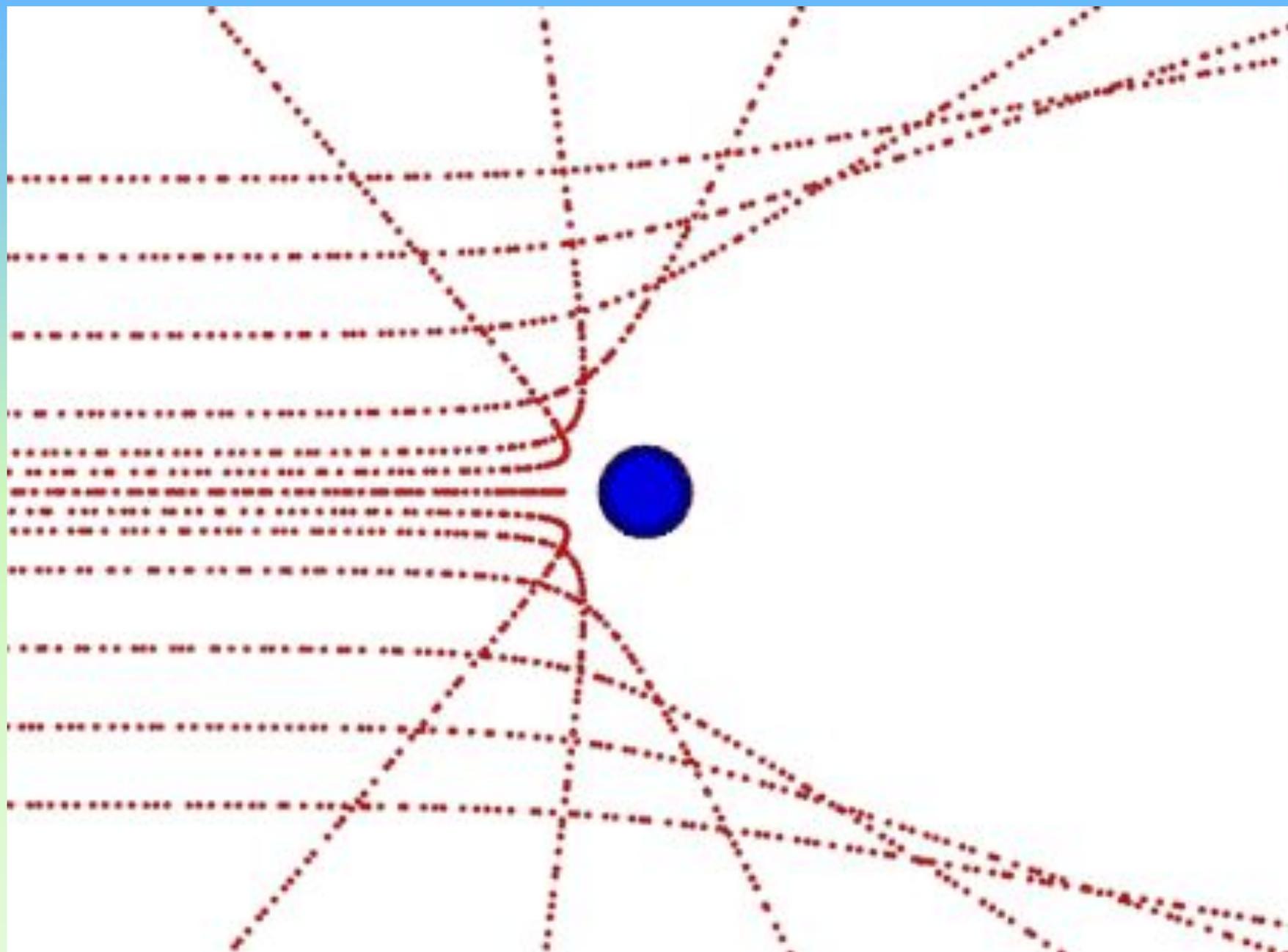
В мае 1911 г. результаты были опубликованы.

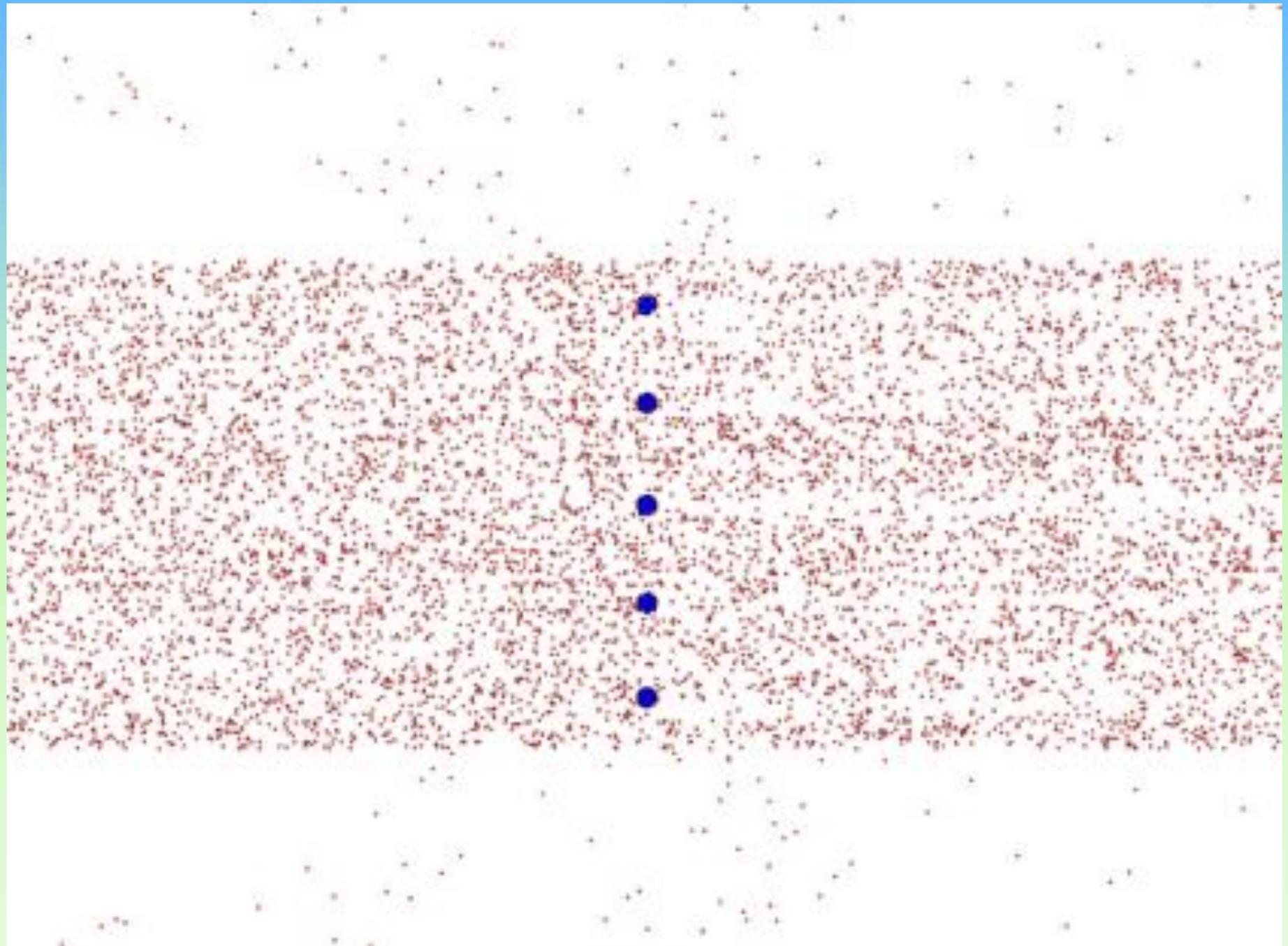
В самом начале статьи в «Philosophical Magazine» написано: «Вопрос об устойчивости атома рассматривать пока преждевременно»

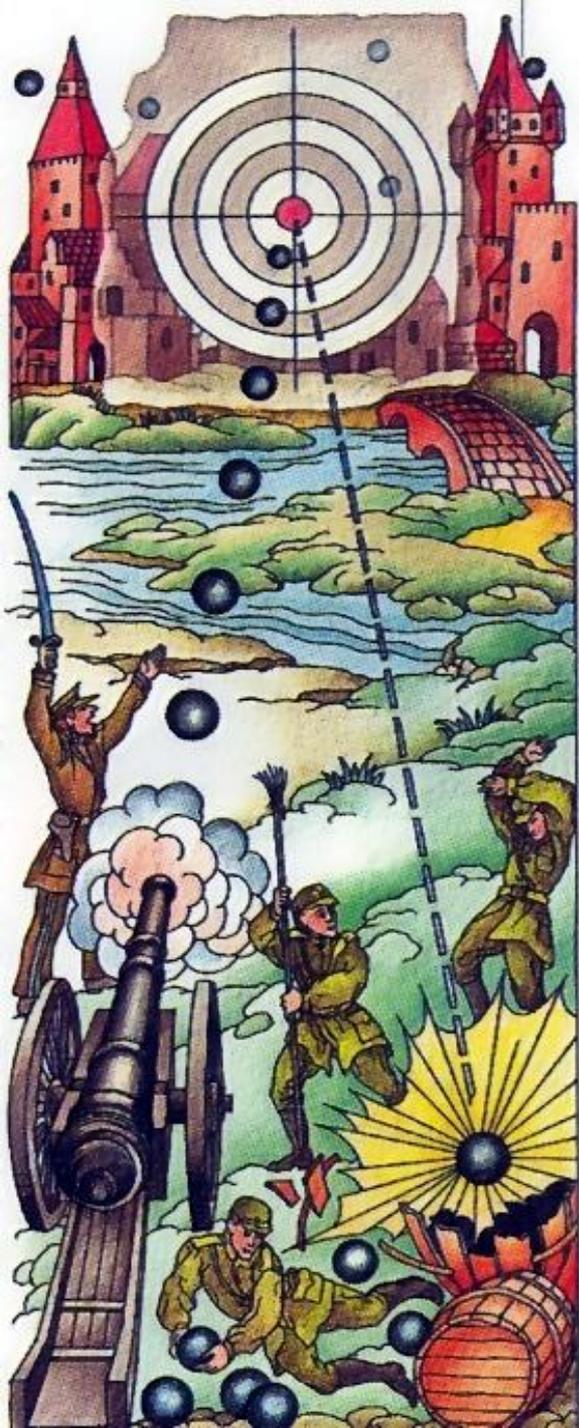
Малая вероятность отклонения на большие углы свидетельствует о малых размерах ядра:

99,95% массы атома сосредоточено в ядре.



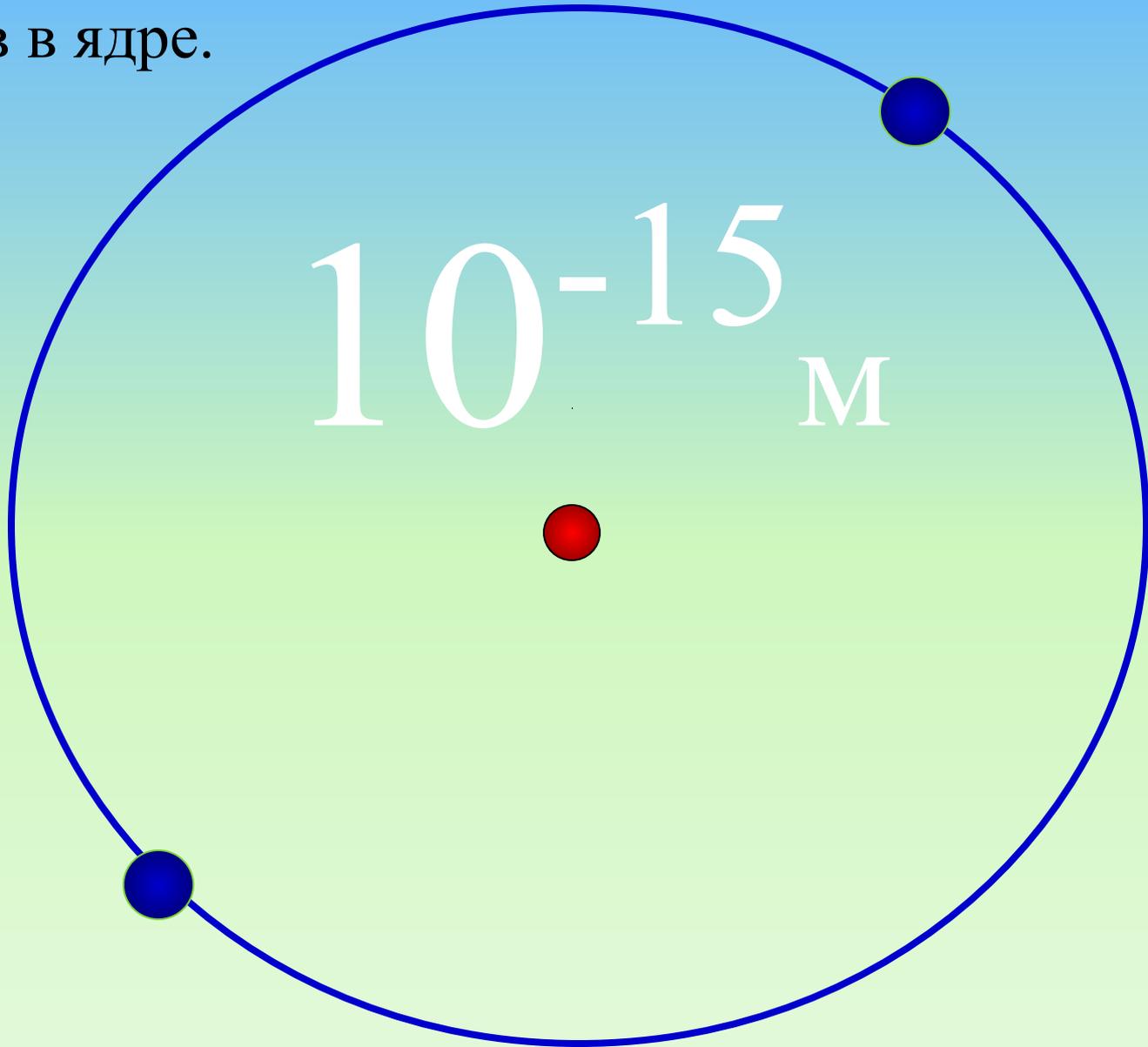




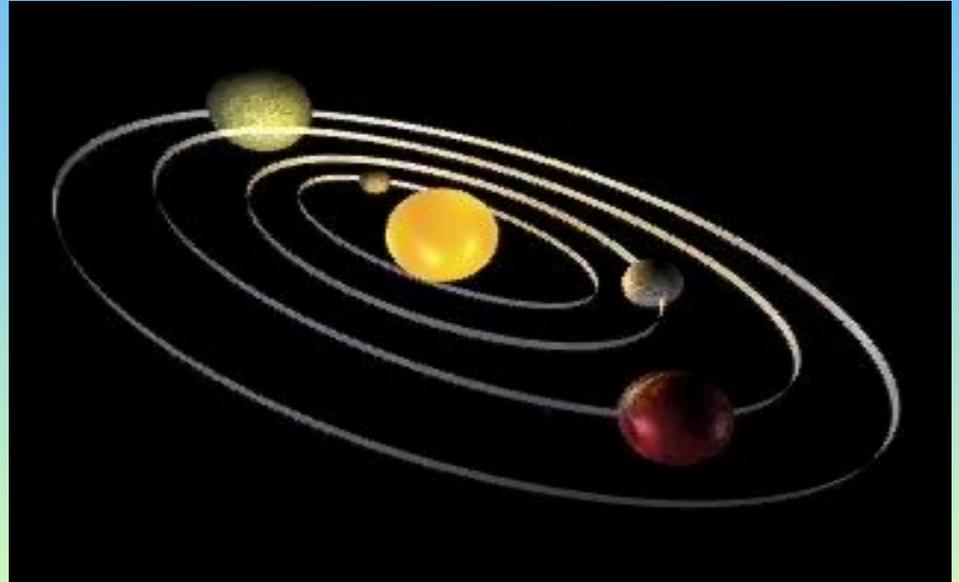
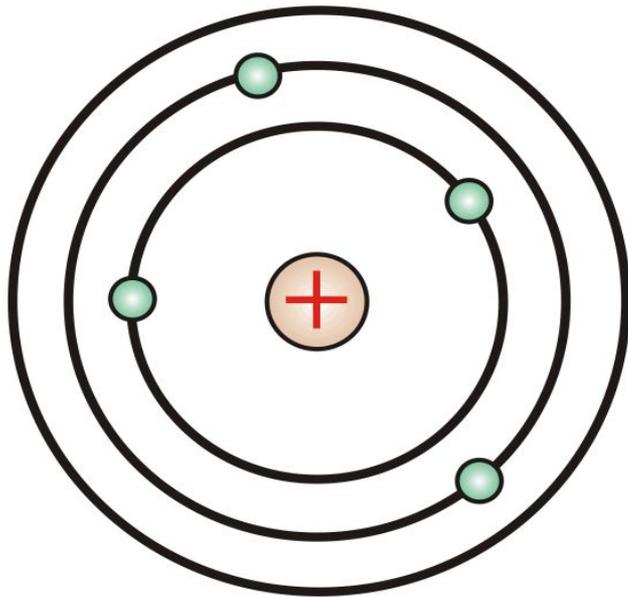


Резерфорд потом вспоминал: "это было самым невероятным событием моей жизни. Это было почти столь же невероятно, как если бы выстрелили 15-дюймовым снарядом в кусок тонкой бумаги, а снаряд возвратился к вам и нанес вам удар".

Радиус ядра $R \approx (10^{-14} \div 10^{-15})$ м и зависит от числа нуклонов в ядре.



Планетарная модель атома



Однако, **планетарная модель была в явном противоречии с классической электродинамикой**: электрон, двигаясь по окружности, т.е. с нормальным ускорением, **должен был излучать энергию, следовательно, замедлять скорость и упасть на ядро**. Т.о. модель Резерфорда не могла объяснить, почему атом устойчив

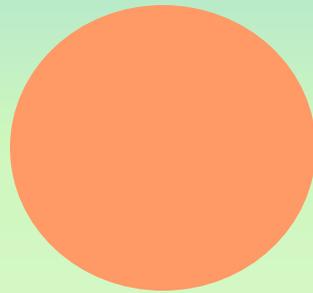
К великому сожалению Резерфорда, статья была встречена молчанием. Резерфорд, конечно понимал почему. Его атом был недолговечен. Электрон, вращаясь вокруг ядра, **должен излучать электромагнитные волны** и терять вследствие этого энергию. При этом скорость его должна была бы замедлиться, и он должен был **бы упасть на ядро!** Однако опыт свидетельствует, что практически все атомы в природе устойчивы.

**Планетарная модель
атома противоречит
электродинамике
Максвелла!!!**

**Согласно теории
Максвелла, ускоренно
движущийся заряд
излучает
электромагнитные
волны.**

**При движении по
окружности имеется
центростремительное
ускорение. Поэтому электрон
должен терять энергию на
электромагнитное излучение
и падать на ядро!**

Падать на ядро!



Нестабильный атом?!

**Попыткой
спасения
планетарной
модели атома
стали постулаты
Н. Бора**

Элементарная теория Бора.



БОР Нильс Хендрик Давид (1885–1962) – выдающийся датский физик-теоретик, один из создателей современной физики.

Сформулировал идею о дискретности энергетических состояний атомов, в свете новых идей построил атомную модель, открыв условия устойчивости атомов, и объяснил большой круг явлений. Создал первую квантовую модель атома, основанную на двух постулатах, которые прямо противоречили классическим представлениям и законам. Бор много сделал для развития ядерной физики. Он – автор теории составного ядра, один из создателей капельной модели ядра и теории деления атомного ядра.

**1. Атом следует описывать
как «пирамиду»
стационарных
энергетических состояний.
Пребывая в одном из
стационарных состояний,
атом не излучает энергию.**

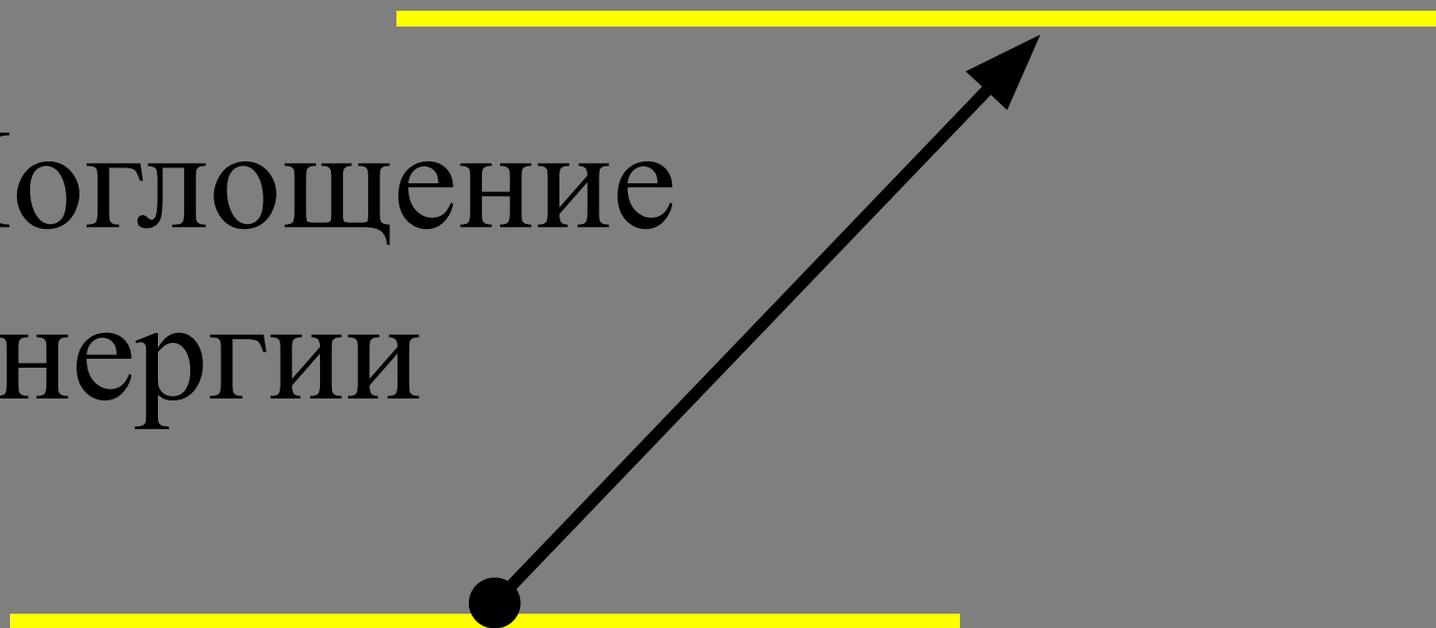


|A|
|B|
|E|

2. При переходах между стационарными состояниями атом поглощает или излучает квант энергии. При поглощении энергии атом переходит в более энергетическое состояние.

$$E_m > E_n$$

Поглощение
энергии



$$E_n$$

$$E_m > E_n$$

Излучение
энергии

$$E_n$$



- **Резерфорд** в письме Бору сразу же указал на главную трудность новой теории. «Как электрон устанавливает частоту, с которой он должен колебаться при переходе из одного стационарного состояния в другое? Видимо, Вы будете вынуждены предположить, что электрон заранее „знает“, где остановиться».
- Реакция научного мира оказалась быстрой и бурной, сторонники и противники новой теории сталкивались в многочисленных дискуссиях. **Макс Фон Лауэ** сказал по поводу гипотезы Бора:
- «Это вздор! Уравнения Максвелла действительны во всех обстоятельствах, и электрон должен излучать непрерывно».
- Недовольство физиков старого поколения выразил лорд **Джон Уильям Рэлей**:
- «Не берусь утверждать, что открытия так не делаются. Быть может, и делаются. Но меня такое не устраивает».
- Через некоторое время всё же стало ясно: работы Бора изменили физику и задали направление её развития на весь **XX** век.

Немного цитат 😊

«Если это правильно, то это означает конец физики как науки»
(А. Эйнштейн, 1913 г.).

«Я убежден, что это учение является роковым для здорового развития науки» (А. Шустер, 1913 г.).

«Атом существует вечно, мы это бесспорно знаем. Но понимаем ли мы это? Нет, не понимаем. Наше непонимание мы прикрываем непонятными же квантовыми условиями. Процесс лучеиспускания — это акт возрождения разрушенного атома. Механизм его нам непонятен. Свое непонимание мы вновь прикрываем непонятным квантовым условием, второй гипотезой Бора... Весь этот метод Бора основан на квантовании — совершенно слепом, мало логическом процессе мысли, на формальной, если можно так выразиться, интуиции» (Д. С. Рождественский, 1919 г.).

«Теория квантов подобна другим победам в науке: месяцами вы улыбаетесь им, а затем годами плачете» (Г. Крамерс, 1920 г.).

Немного цитат 😊

«Законы квантования в своей теперешней формулировке носят до некоторой степени теологический характер, для натуралиста совершенно неприемлемый, так что многие ученые по справедливости возмущаются этими Bauern-Regeln (крестьянскими законами)» (**П. Эпштейн**, 1922 г.).

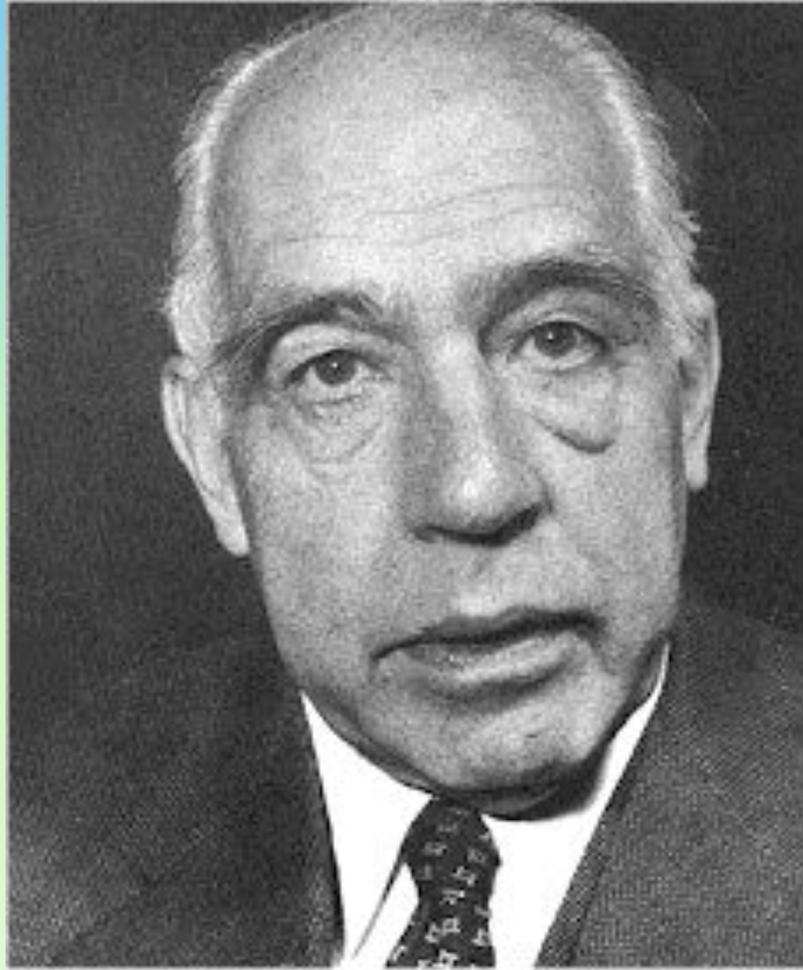
«Мы неизмеримо далеки от такого описания атомного механизма, которое позволило бы проследить, например, все движения электрона в атоме или понять роль стационарных состояний...

Теорию квантов можно сравнить с лекарством, излечивающим болезнь, но убивающим больного». (**Г. Крамерс, Х. Гольст**, 1923 г.)

«Все это очень красиво и крайне важно, но, к сожалению, не очень понятно. Мы не понимаем ни гипотезы Планка об осцилляторах, ни запрета нестационарных орбит, и мы не понимаем, как же, в конце концов, образуется свет согласно теории Бора. Не подлежит сомнению, что механику квантов, механику дискретного, еще предстоит создать» (**Г.А. Лоренц**, 1923 г.).

«Физика теперь снова зашла в тупик, во всяком случае для меня она слишком трудна, и я предпочел бы быть комиком в кино или кем-нибудь вроде этого и не слышать ничего о физике!» (**В. Паули**, 21 мая 1925 г.).

Теория Бора

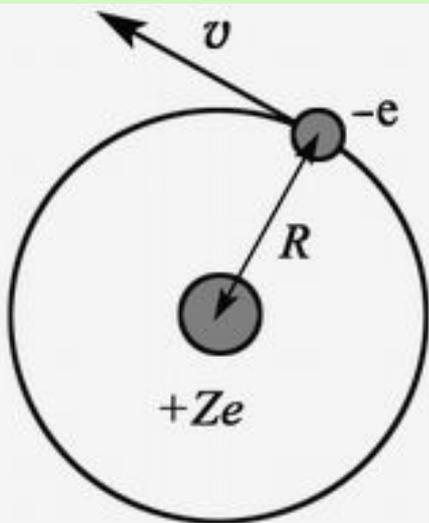


Постулаты Бора

1. Электроны движутся только по определенным (стационарным) орбитам. При этом не происходит излучения энергии.

Условие для стационарных орбит:

из всех орбит электрона **возможны только те, для которых момент импульса электрона, равен целому кратному постоянной Планка:**



$$m_e v r = n \hbar$$

$n = 1, 2, 3, \dots$ главное квантовое число.

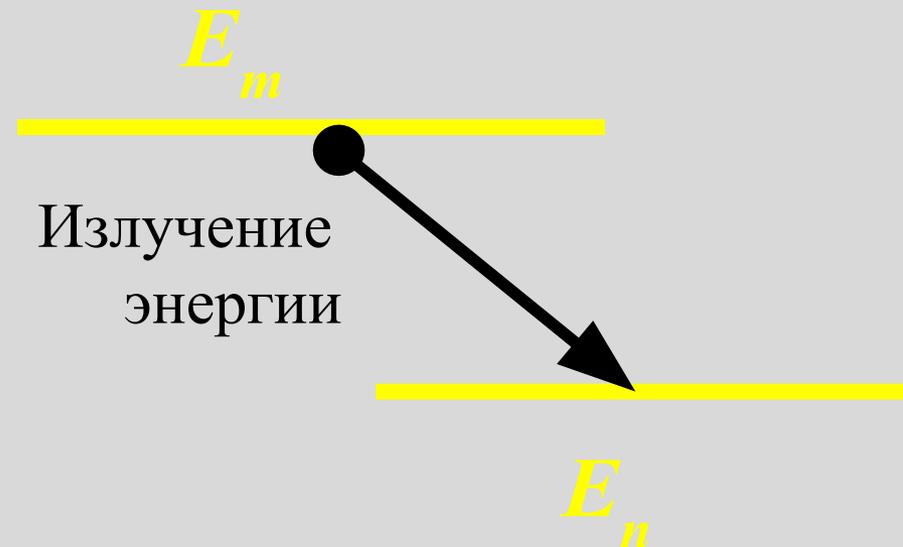
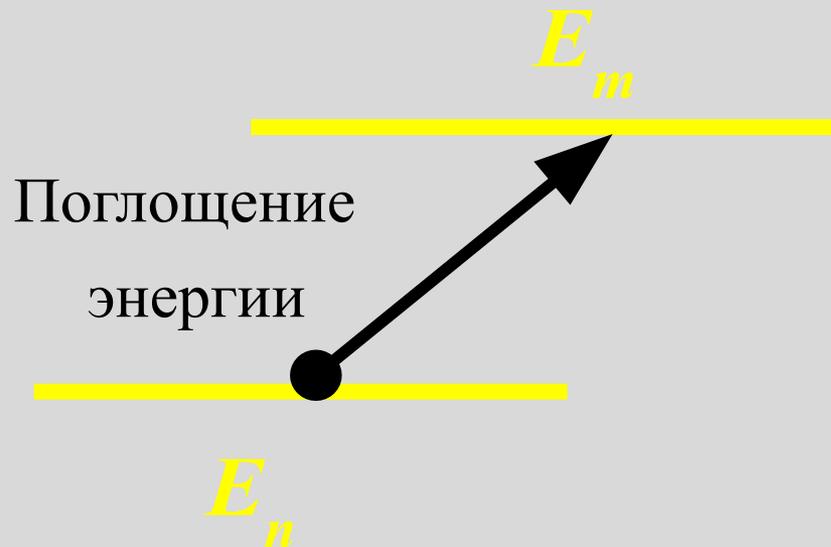
2. Излучение или поглощение энергии в виде кванта энергии $h\nu$ происходит лишь при переходе электрона из одного стационарного состояния в другое.

Световой квант равен разности энергий тех стационарных состояний, между которыми совершается квантовый скачок электрона:

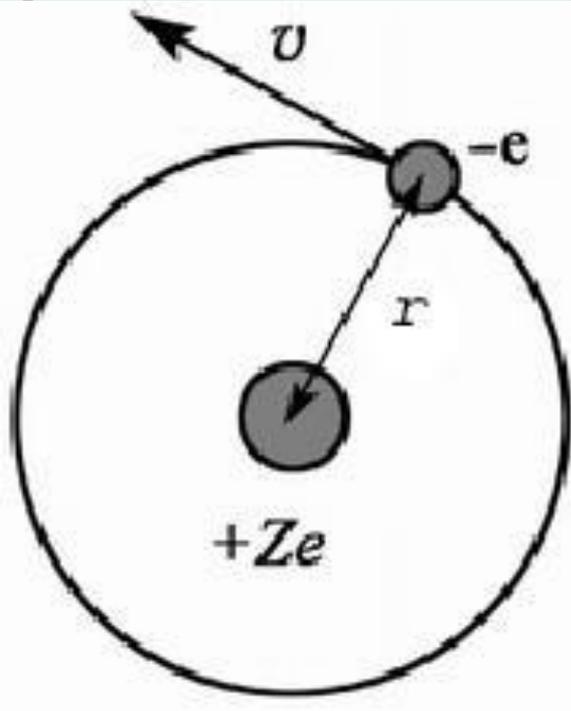
$h\nu = E_m - E_n$ Правило частот Бора

$\hbar\omega = E_m - E_n$

m, n – номера состояний.



Уравнение движения электрона получим из равенства центробежной силе кулоновской силе:



$$m_e \frac{v^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2}$$

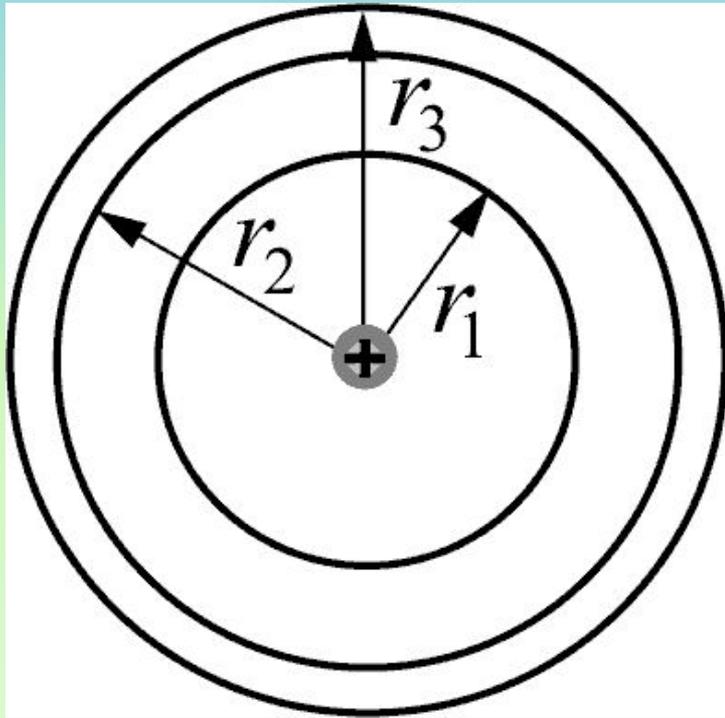
$$m_e v r = n\hbar$$

Отсюда найдем **радиус стационарных орбит:**

$$\Rightarrow r_B = 4\pi\epsilon_0 \frac{\hbar^2}{m_e Ze^2} n^2 = r \frac{n^2}{Z}$$

Радиус первой орбиты водородного атома называют **Боровским радиусом**:

При $n = 1$, $Z = 1$ для водорода имеем:



$$r_1 = 4\pi\epsilon_0 \frac{\hbar^2}{m_e e^2} = 0,529 \text{ \AA} = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Внутренняя энергия атома складывается из кинетической энергии электрона и потенциальной энергией взаимодействия электрона с ядром:

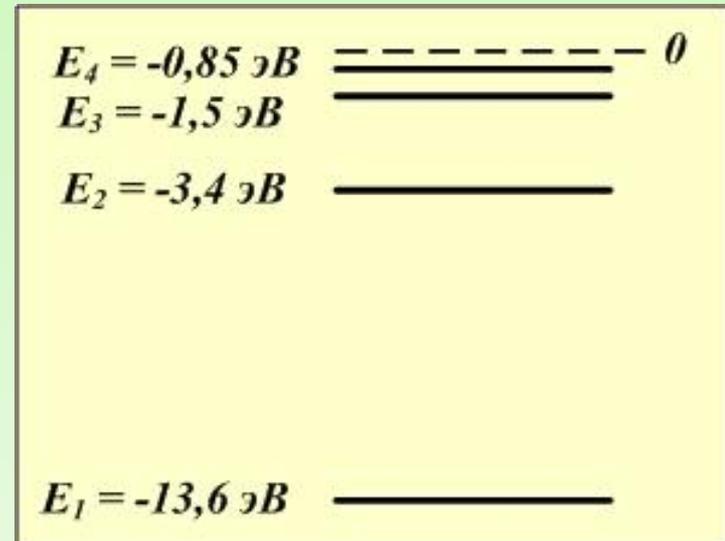
$$\frac{m_e v^2}{2} - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{1}{2} \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Отсюда

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \frac{1}{n^2} \quad \text{ИЛИ} \quad E_n = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z^2 e^2}{2r_B} \frac{1}{n^2}$$

Видно, что:

энергия электрона может принимать только дискретные значения,
т.к. $n = 1, 2, 3, \dots$

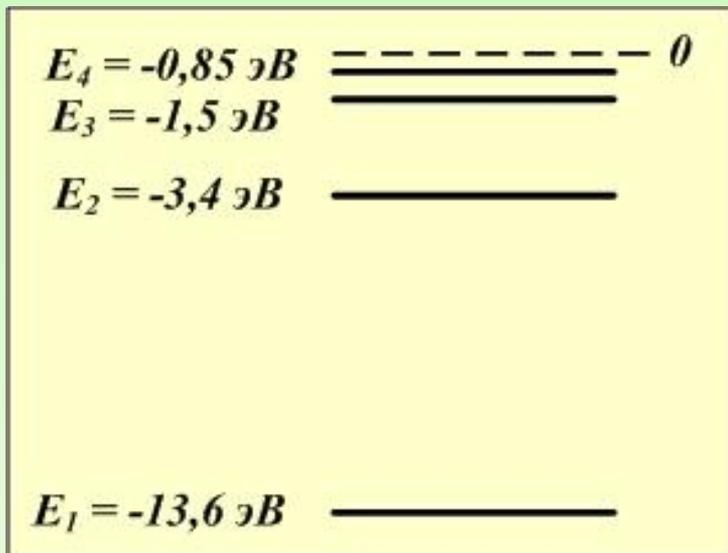


- В основном состоянии ($n=1$) полная энергия электрона в атоме минимальна и равна

где

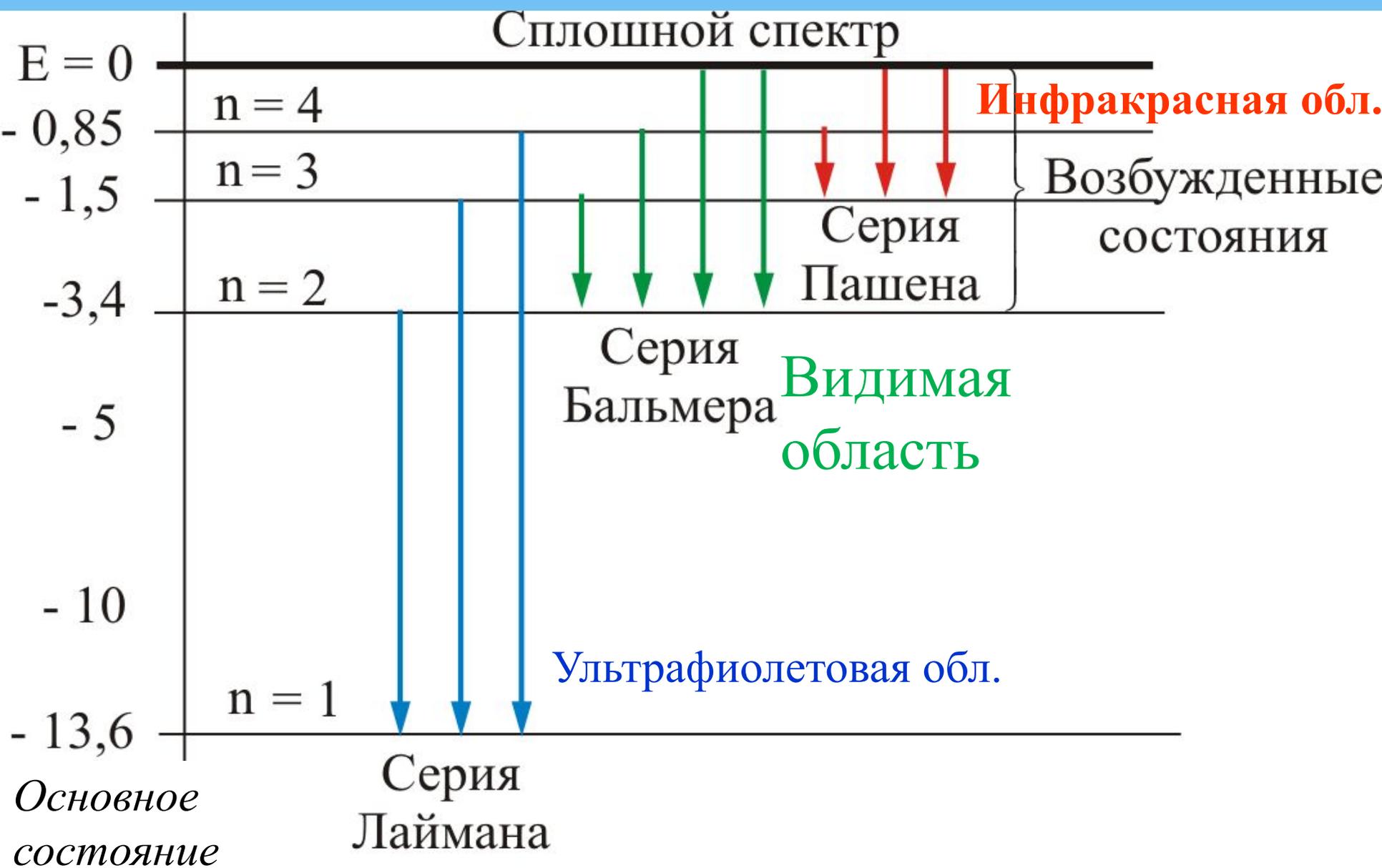
$$E_1 = -Z^2 E_0$$

$$E_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{2r_B} = \frac{m_e c^2}{2} \cdot \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} \right)^2 = 13,6$$



Энергию произвольного состояния с любым номером n удобно выражать через энергию основного состояния:

$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$



При переходе электрона в атоме водорода из состояния n в состояние k излучается фотон с энергией :

$$h\nu = -\frac{m_e e^4}{8h^2 \varepsilon_0^2} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$$

и частота излучения,

$$\nu = \frac{m_e e^4}{8h^3 \varepsilon_0^2} \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{ИЛИ}$$

$$\omega = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

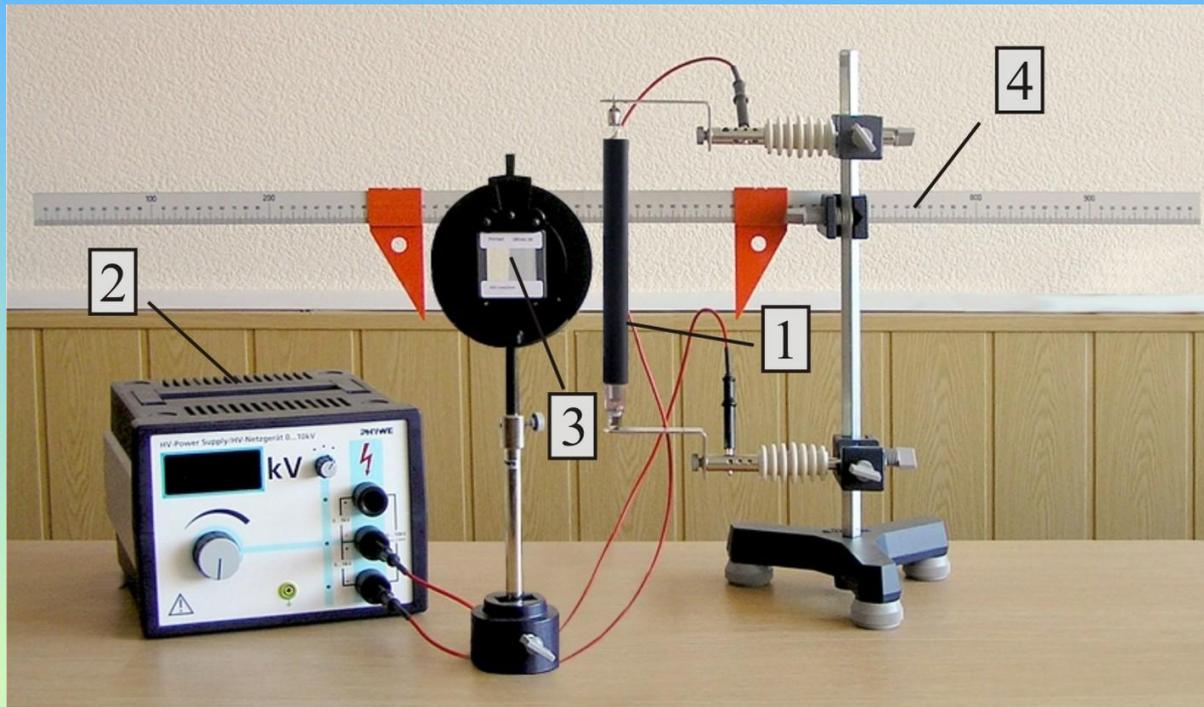
Мы получили обобщенную формулу Бальмера, которая хорошо согласуется с экспериментом, где постоянная Ридберга

$$R = \frac{m e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^3} \quad \text{ИЛИ} \quad R = \left(\frac{1}{4\pi \varepsilon_0} \right)^2 \frac{m e^4}{2 \hbar^3}, c^{-1}$$

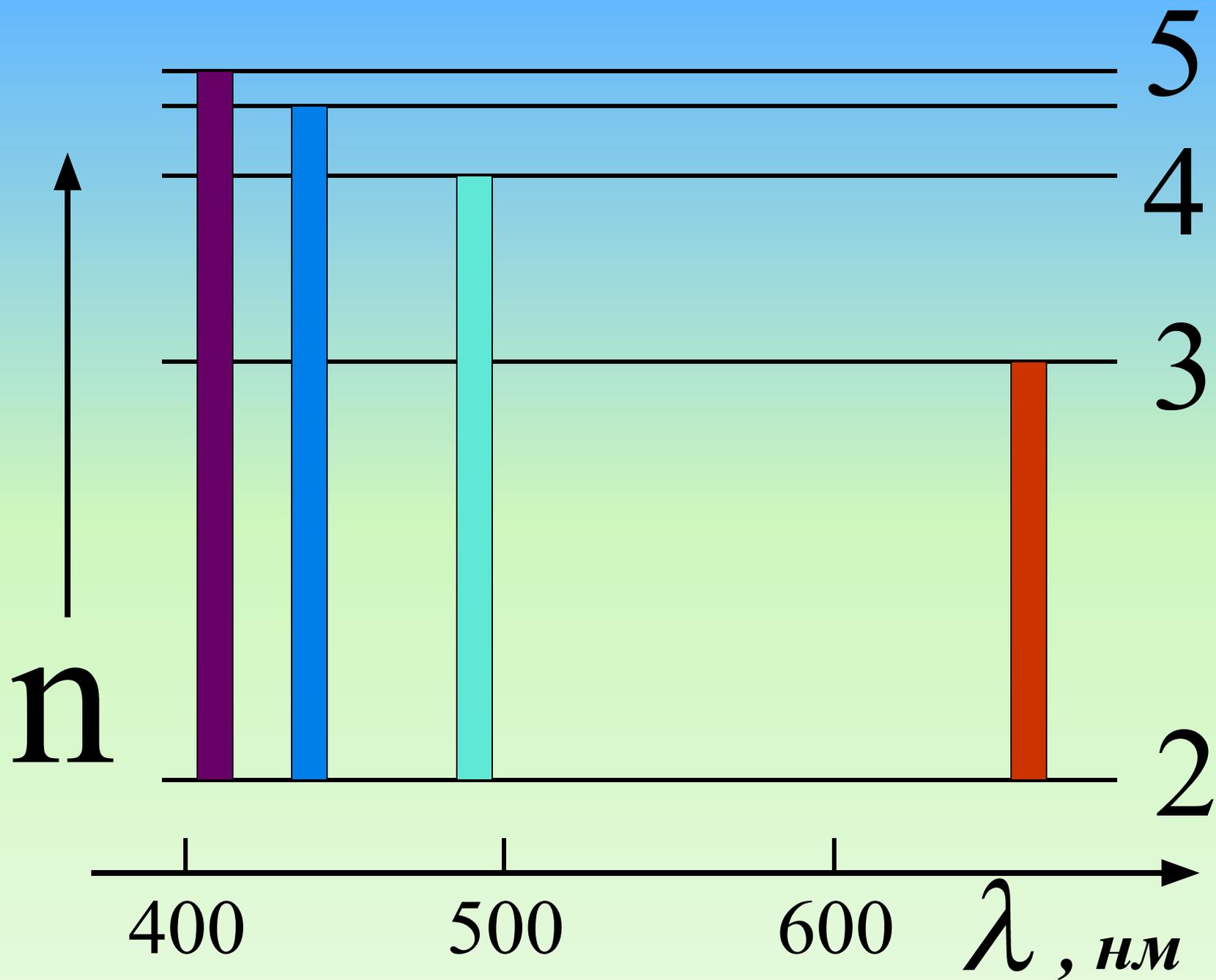
Лабораторная работа №4

Определение постоянной Ридберга и энергетических уровней атома водорода





- Экспериментальная установка для исследования спектра атома водорода.
1 – спектральная трубка; 2 – источник высокого напряжения; 3 – дифракционная решетка; 4 – измерительная шкала.



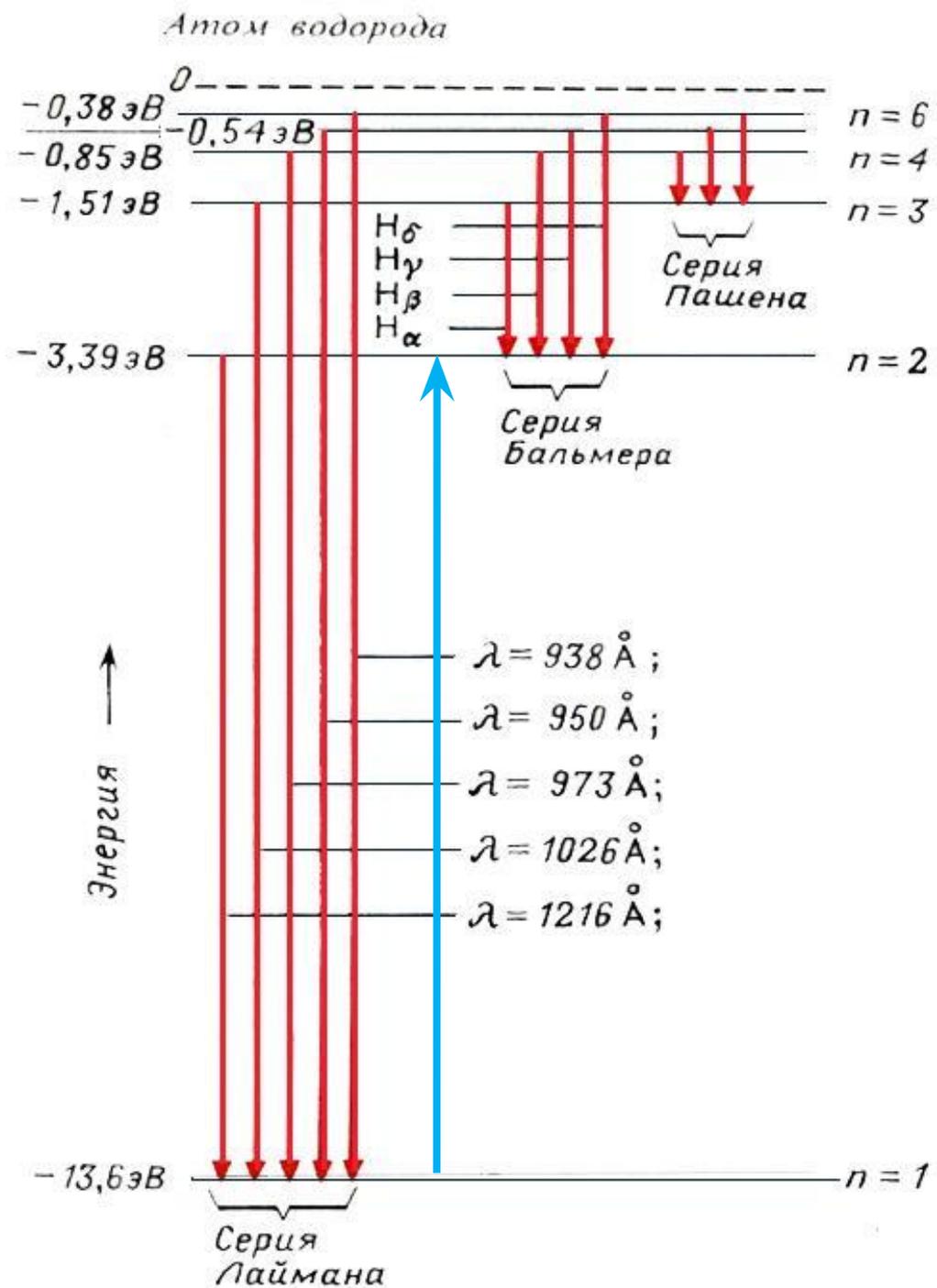
В каких пределах должна лежать энергия бомбардирующих электронов, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами этих электронов спектр водорода имел только одну спектральную линию?

Решение.

Для того, чтобы было возможно наблюдать только одну спектральную линию, энергия электрона в атоме должна возрасти на величину, равную разности энергий второго и первого квантовых уровней.

$$\Delta E = E_2 - E_1,$$

$$\Delta E = \frac{E_1}{4} - E_1 = -\frac{3}{4} E_1 = +10,2$$



Решение (продолжение).

При столкновении бомбардирующий электрон не может передать энергию, большую, чем кинетическая энергия этого электрона, поэтому.

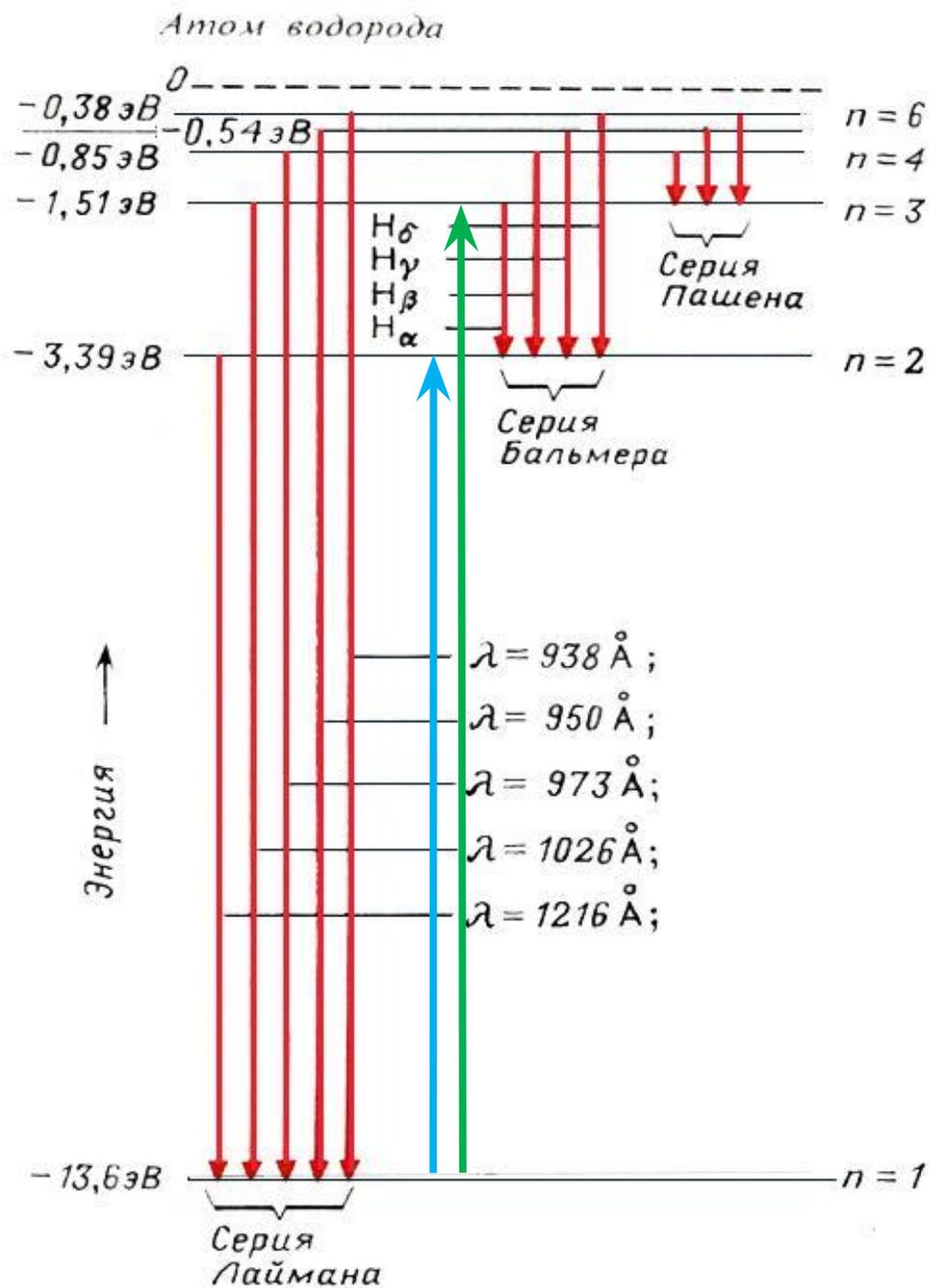
$$E_{B_{\min}} = \Delta E = -\frac{3}{4} E_1 = +10,2$$

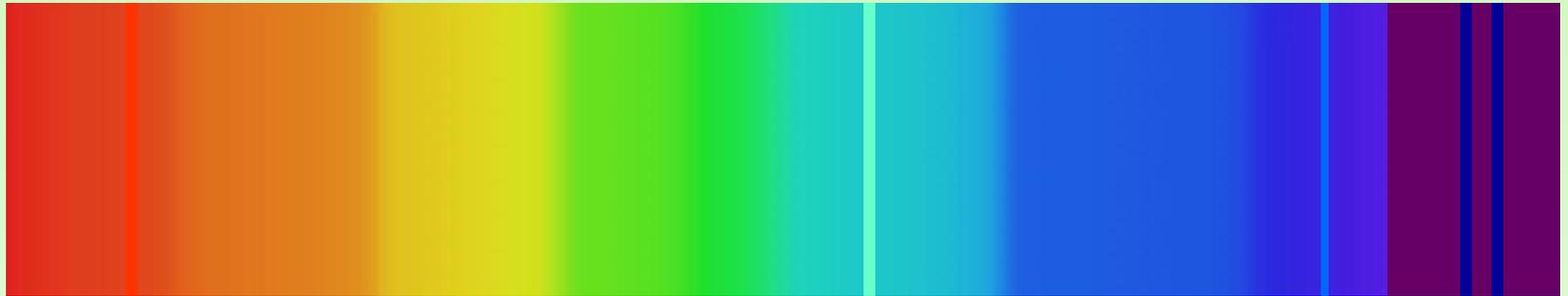
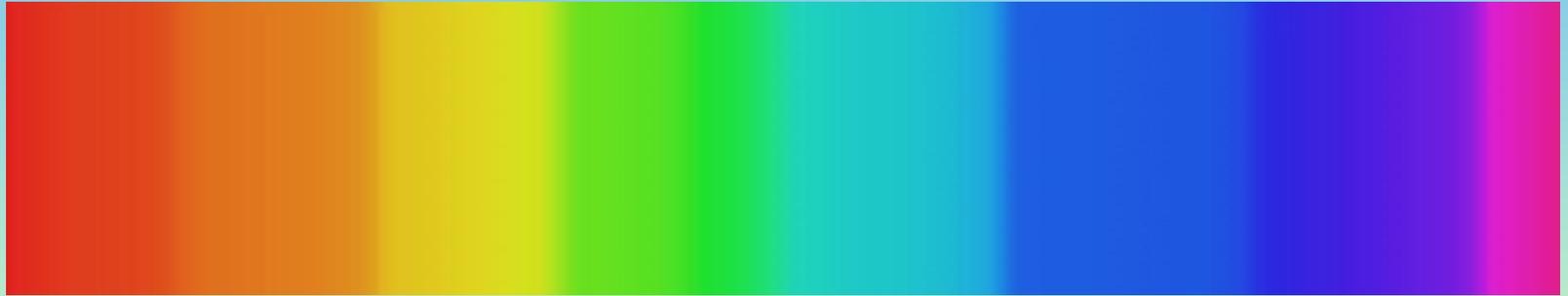
В то же время электрон атома не должен получить энергию, достаточную для перехода на уровень номер 3.

$$\Delta E < \frac{E_1}{9} - E_1 = -\frac{8}{9} E_1 = +12,1$$

Ответ: энергия бомбардирующих электронов должна лежать пределах

$$10,2 \text{ эВ} \leq E < 12,1 \text{ эВ}$$





H_{α}

H_{β}

H_{γ}

H_{δ}

Бор продемонстрировал объяснительную силу своей модели и другим способом. В конце XIX века гарвардский астроном Эдвард Чарльз Пикеринг Бор продемонстрировал объяснительную силу своей модели и другим способом. В конце XIX века гарвардский астроном Эдвард Чарльз Пикеринг (Edward Charles Pickering Бор продемонстрировал объяснительную силу своей модели и другим способом. В конце XIX века гарвардский астроном Эдвард Чарльз Пикеринг (Edward Charles Pickering) обнаружил в излучении звезды Дзета Кормы Бор продемонстрировал объяснительную силу своей модели и другим способом. В конце XIX века гарвардский астроном Эдвард Чарльз Пикеринг (Edward Charles Pickering) обнаружил в излучении звезды Дзета Кормы спектральную серию, которая по структуре напоминала линии водорода, но не описывалась формулой Ридберга. В 1912 году те же линии промерил в лаборатории лондонский физик Альфред Фаулер Бор продемонстрировал объяснительную силу своей модели и

Серьезным успехом теории Бора явилось:

- вычисление постоянной Ридберга для водородоподобных систем и*
- объяснение структуры их линейчатых спектров.*

*Бору удалось объяснить **линии**
спектра ионизованного гелия.*

Ион гелия	(Z=2)	${}^4_2\text{He}^+$
$E_n = -Z^2 E_0 / n^2$	$E_i = Z^2 E_0 = 54.4$	
$M_{1,He} = ZV_{1,H} = 4,4 \cdot 10^6$	/	$n_{\neq} 26,5$

Лабораторная работа №17

Опыт Франка и Герца

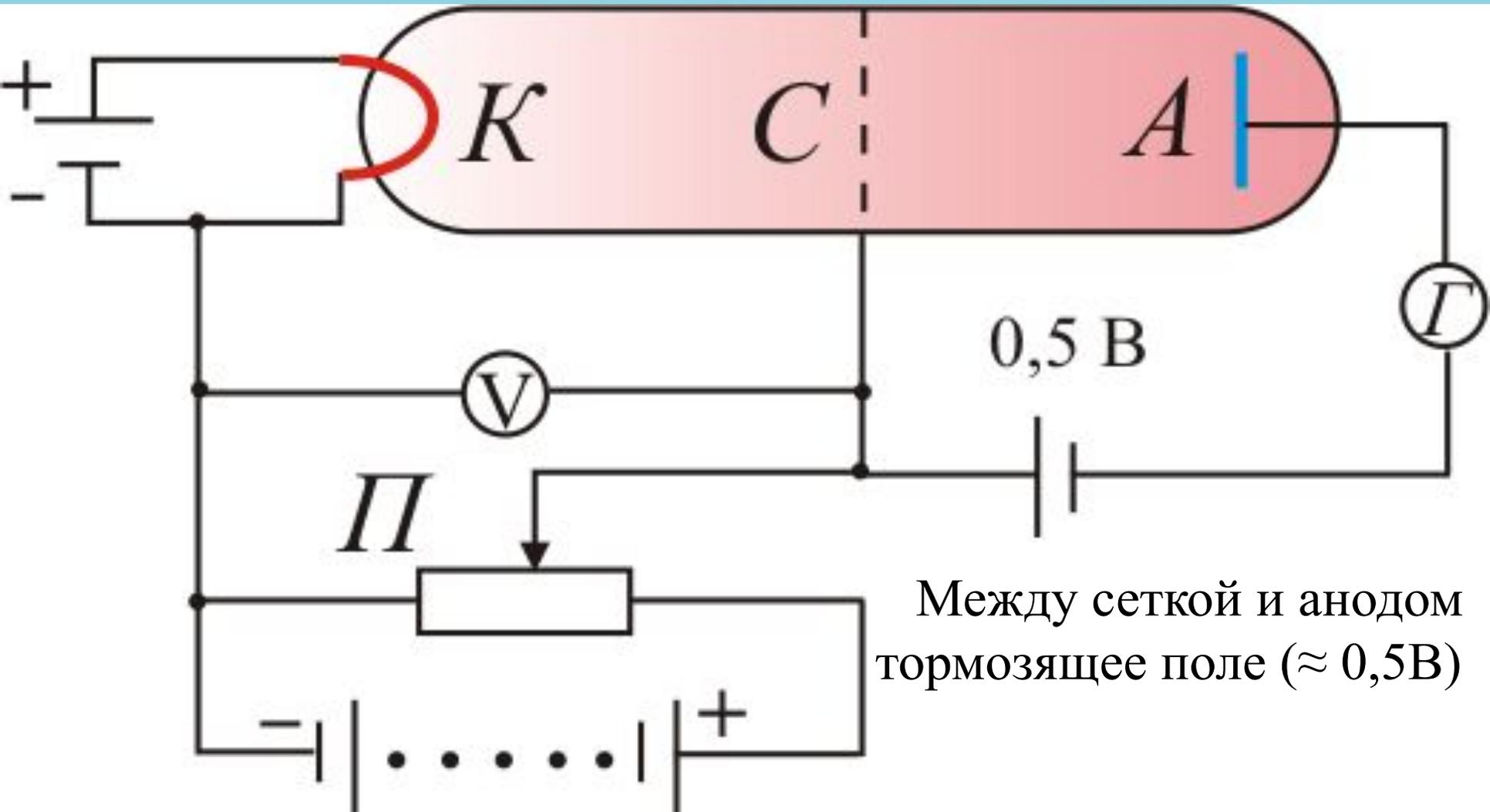


Опыт Франка и Герца.

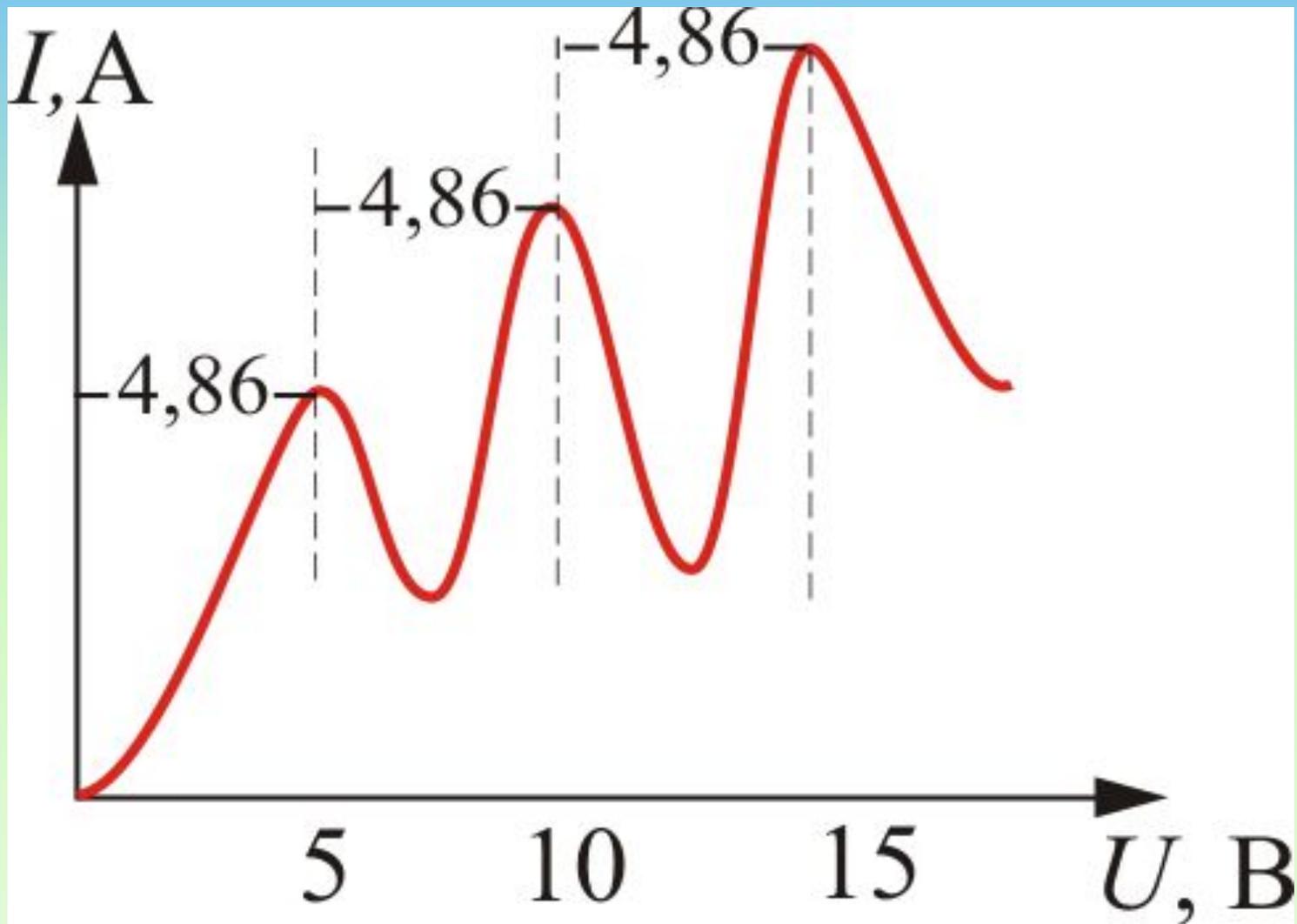
Существование дискретных энергетических уровней атома и доказательство правильности теории Бора подтверждается опытом Франка и Герца.

Немецкие ученые Джеймс Франк и Густав Герц, за экспериментальные исследования дискретности энергетического уровня получили Нобелевскую премию в 1925 г.

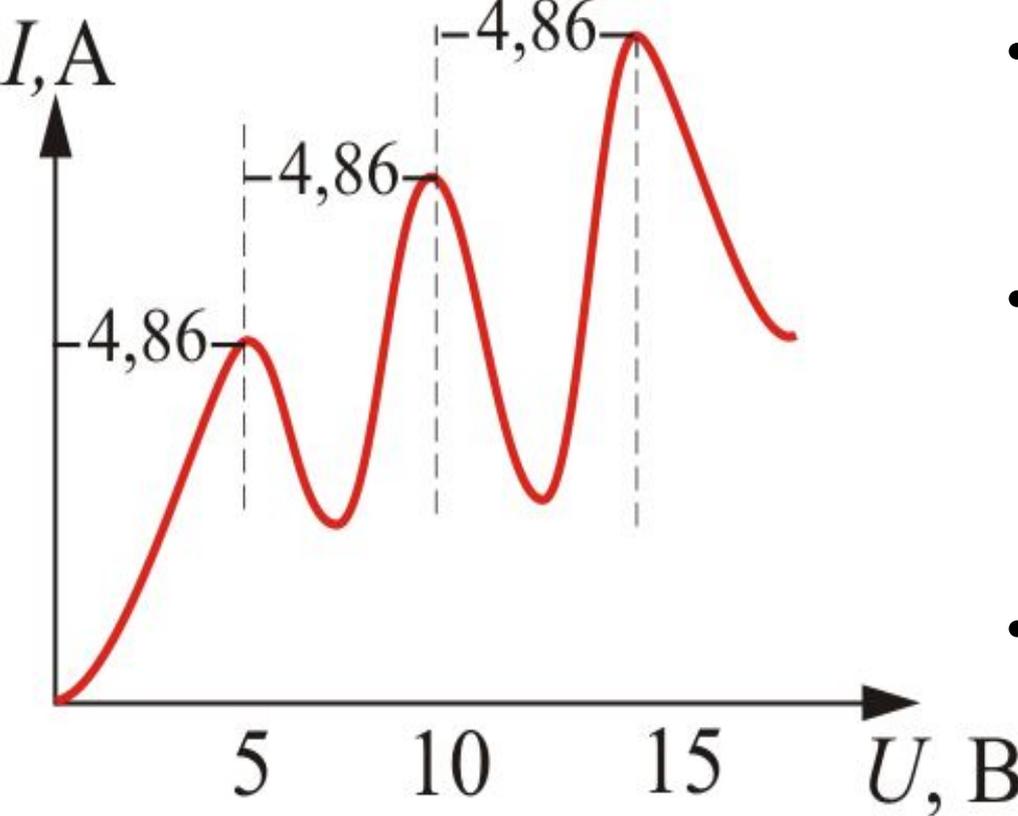
В трубке, заполненной парами ртути при давлении $p \approx 1$ мм рт. ст., три электрода, катод – сетка – анод. Электроны ускорялись разностью потенциалов U между катодом и сеткой.



Зависимость тока через гальванометр (I) от разности потенциалов между катодом и сеткой (U):



$U = 4,86$ – соответствует 1-му потенциалу возбуждения



- при увеличении U вплоть до 4,86 В ток I возрастает монотонно,
- при $U = 4,86$ В ток максимален, затем резко уменьшается и возрастает вновь.
- дальнейшие максимумы тока наблюдаются при $U = 2 \cdot 4.86$ В, $3 \cdot 4.86$ В...

Такой ход кривой объясняется тем, что **вследствие дискретности энергетических уровней атомы ртути могут воспринимать энергию бомбардирующих электронов только порциями:**

$$\Delta E_1 = E_2 - E_1 \quad \text{либо} \quad \Delta E_2 = E_3 - E_2 \dots$$

$E_1, E_2, E_3 \dots$ - энергии 1-го, 2-го и т.д. стационарных состояний.

При $U < 4,86 \text{ В}$

- энергия электронов меньше ΔE_1 ;
- соударения между электронами и атомами ртути носят *упругий характер*.

При $U = 4,86 \text{ В}$

- энергия электрона становится достаточной, чтобы вызвать *неупругий удар*, при котором *электрон отдает атому ртути энергию ΔE_1* и продолжает двигаться с меньшей скоростью;
- число электронов, достигающих A , резко уменьшается и ток падает
- *атом ртути переходит в возбужденное состояние*.

При U , кратном $4,86 \text{ В}$

- электроны могут испытывать с атомами ртути 2, 3, ... неупругих соударения, теряя при этом полностью свою энергию.
- *анодный ток каждый раз резко уменьшается*.

Атомы ртути, получившие при соударении с электронами энергию ΔE_1 и перешедшие в возбужденное состояние, спустя время $\sim 10^{-8}$ с должны вернуться в основное состояние, *излучая, согласно второму постулату Бора фотон с частотой (правило частот):*

$$\nu = \frac{\Delta E_1}{h}$$

При этом длина волны светового кванта:

$$\lambda = hc / \Delta E \approx 255 \text{ нм} \quad \text{-что соответствует ультрафиолетовому излучению.}$$

Опыт действительно обнаруживает *ультрафиолетовую линию* с $\lambda \approx 255 \text{ нм}$

Таким образом, *опыты Франка и Герца экспериментально подтвердили не только первый, но и второй постулат Бора.*

Эти опыты сыграли огромное значение в развитии атомной физики.

Однако наряду с успехами в теории Бора с самого начала обнаружались **существенные недостатки**.

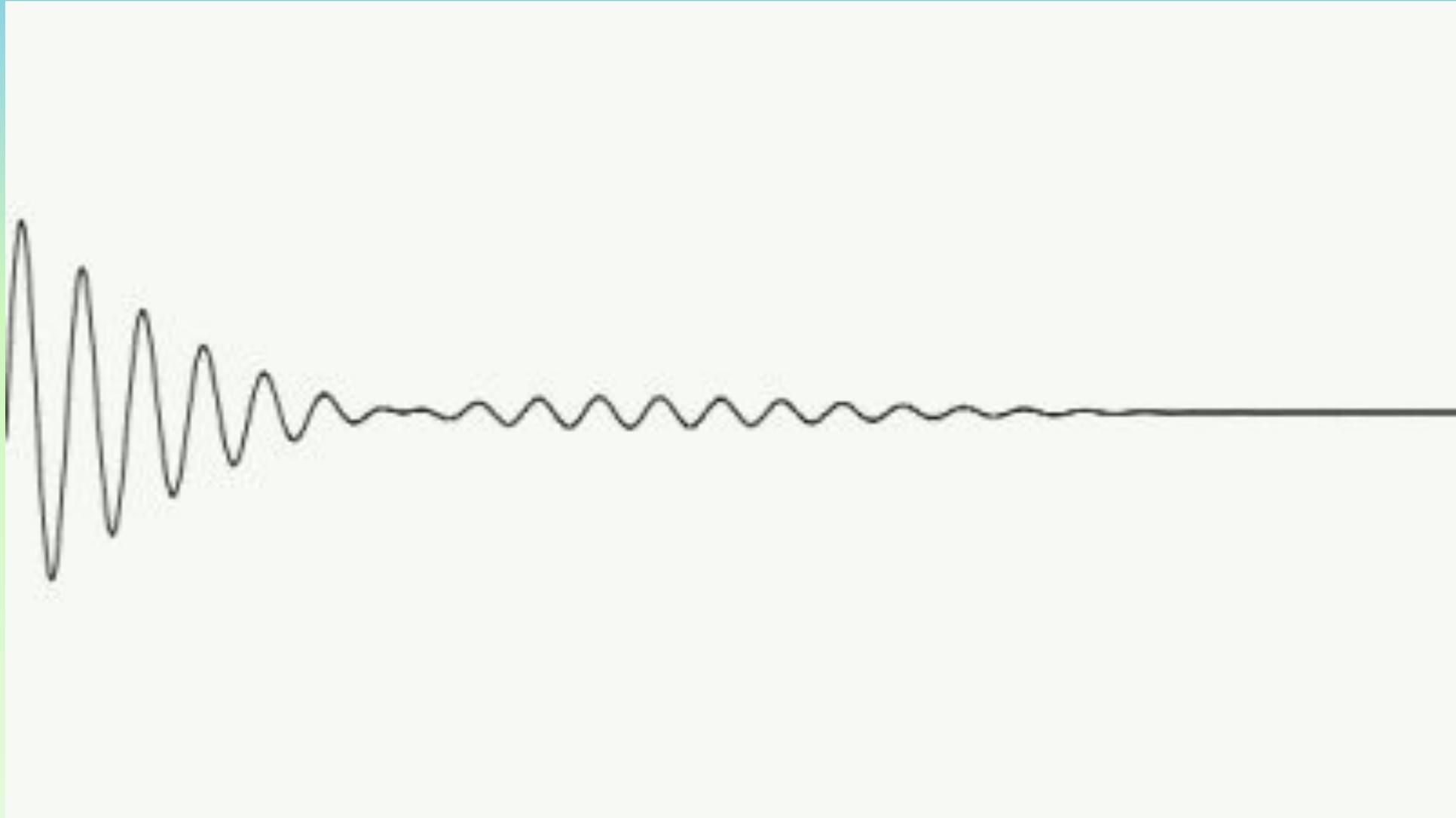
- Главнейшее – **внутренняя противоречивость теории: механическое соединение классической физики с квантовыми постулатами**.
- Теория не могла объяснить вопрос об **интенсивностях спектральных линий**.
- Серьезной неудачей являлась абсолютная невозможность применить теорию для объяснения спектров гелия (*He*) (два электрона на орбите, и уже теория Бора не справляется).

Стало ясно, что теория Бора является лишь переходным этапом на пути создания более общей и правильной теории. *Такой теорией и являлась квантовая (волновая) механика.*

**Дальнейшее развитие
квантовой механики
привело к отказу от
механической картины
движения электрона в поле
ядра.**

КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ

«Волна – частица»





$$\lambda_e = \frac{h}{mv}$$

Луи-де-

Бройль

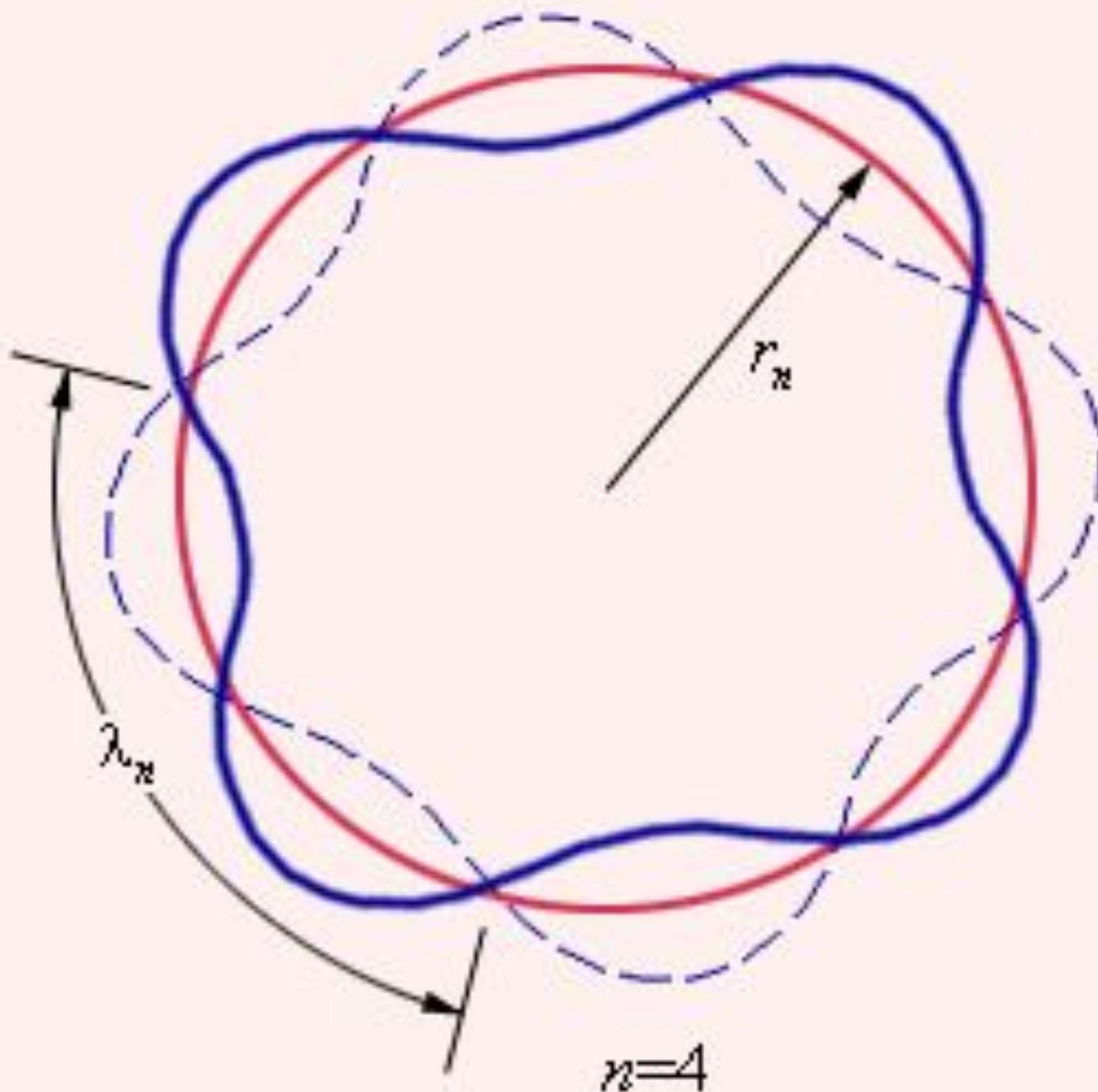


Иллюстрация
идеи де Бройля
о
возникновении
стоячих волн
на
стационарной
орбите для
случая $n = 4$.

Принцип дополнительности Н.Бора

- Всем микрообъектам присущи и волновые, и корпускулярные свойства, однако, они не являются ни волной, ни частицей в классическом понимании.
- Разные свойства микрообъектов не проявляются одновременно, они дополняют друг друга, только их совокупность характеризует микрообъект полностью.



Вернер Гейзенберг

Матричная механика

Соотношение
неопределенностей

Соотношение неопределенностей В. Гейзенберга

$$\Delta p_x \cdot \Delta x \geq \hbar$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$$

Микрочастицы в принципе не имеют одновременно точного значения координаты и соответствующей проекции импульса.

- Является проявлением двойственной корпускулярно-волновой природы материальных микрообъектов.
- Позволяет оценить, в какой мере можно применять к микрочастицам понятия классической механики.



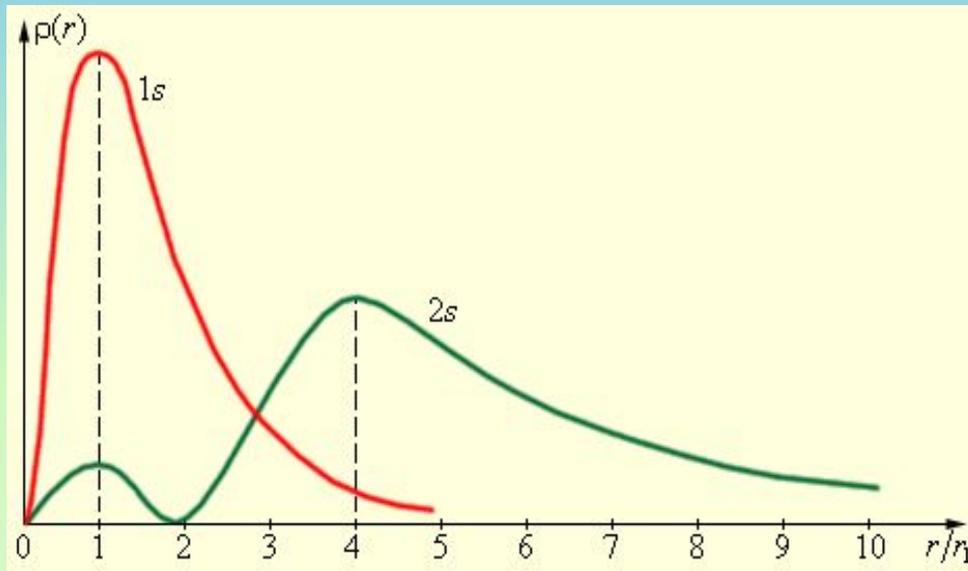
Эрвин

Шредингер

Волновая
механика

Волновое
уравнение
электрона –
уравнение
Шредингера

Распределение вероятности обнаружения электрона в атоме водорода

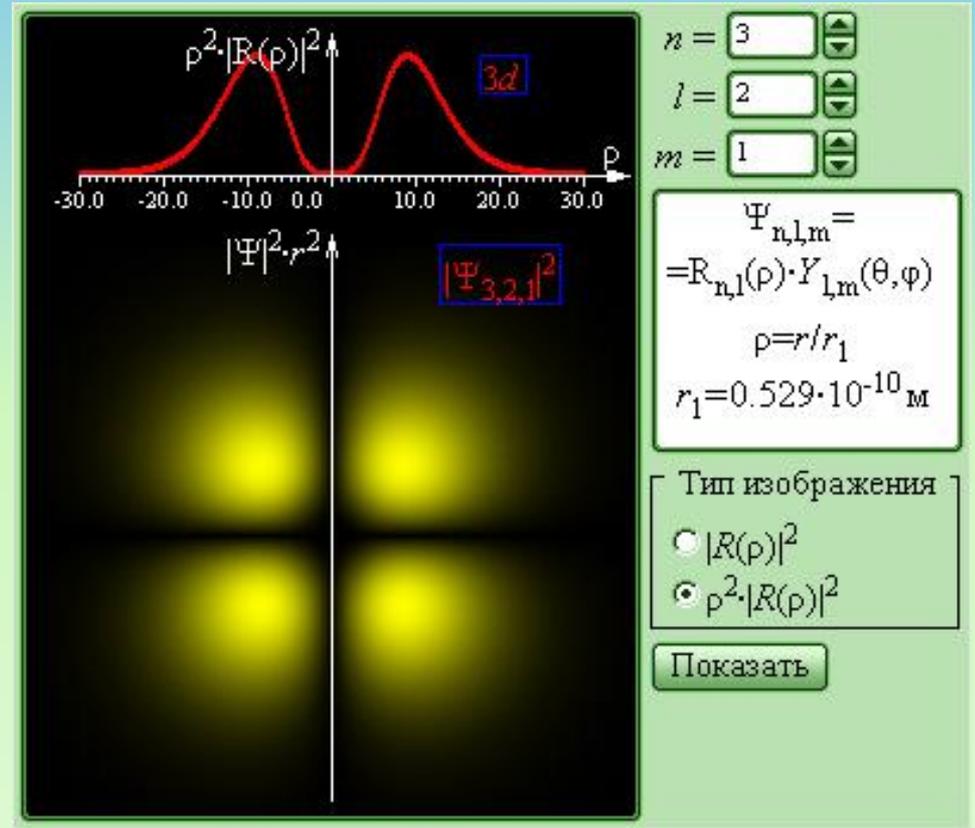
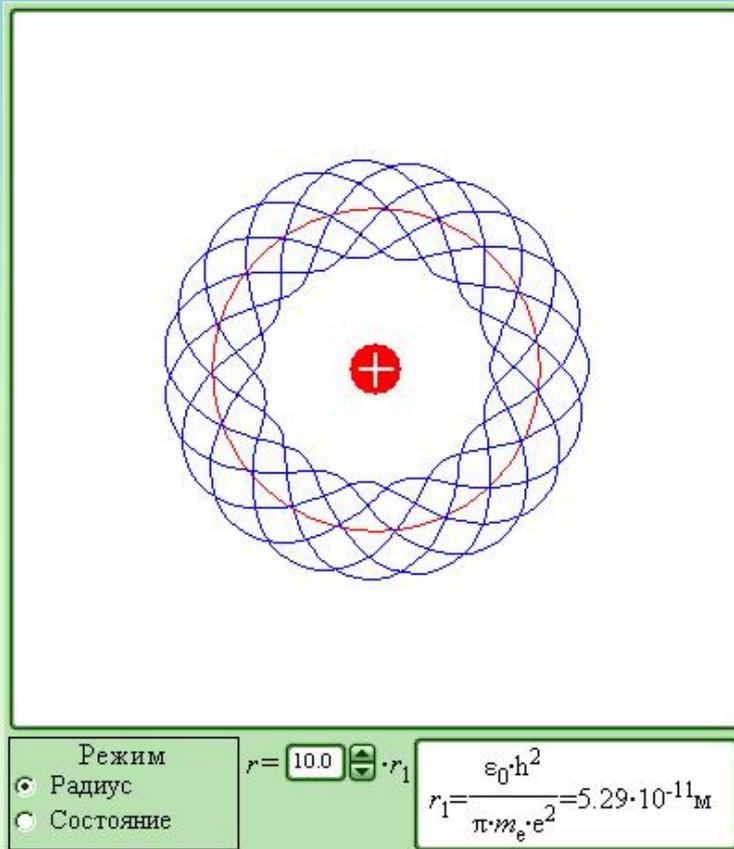


Вероятность обнаружения электрона в состоянии $2s$ максимальна на расстоянии $r = 4r_1$ от ядра.

В обоих случаях атом водорода можно представить в виде сферически симметричного электронного облака, в центре которого находится ядро.

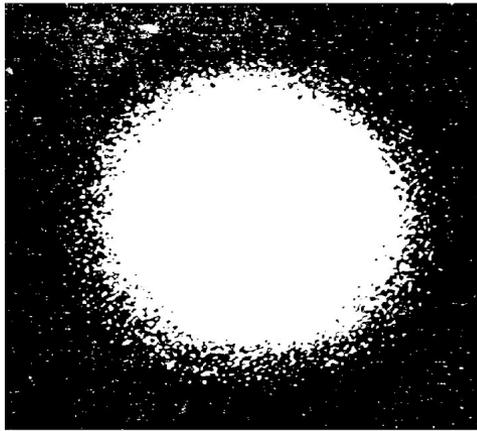
Электрон в состоянии $1s$ (основное состояние атома водорода) может быть обнаружен на различных расстояниях от ядра. С наибольшей вероятностью его можно обнаружить на расстоянии, равном радиусу r_1 первой боровской орбиты.

Классическая механика – описание частиц путем задания их положения в пространстве (координат) и скоростей и зависимости этих величин от времени

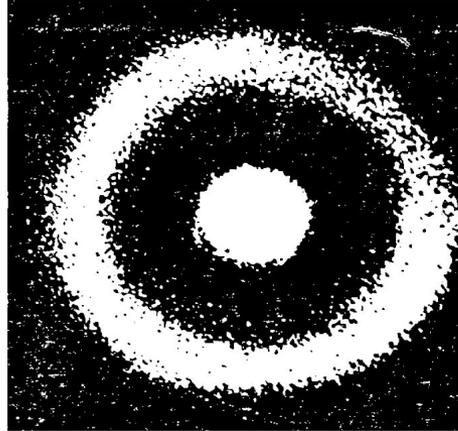


Квантовая (волновая) механика – законы носят принципиально вероятностный характер

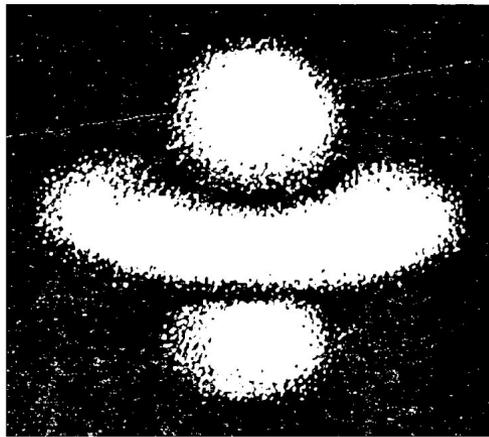
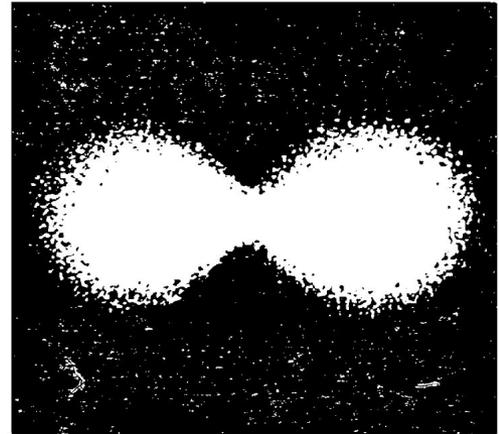
Некоторые из возможных форм электронного облака в атоме водорода



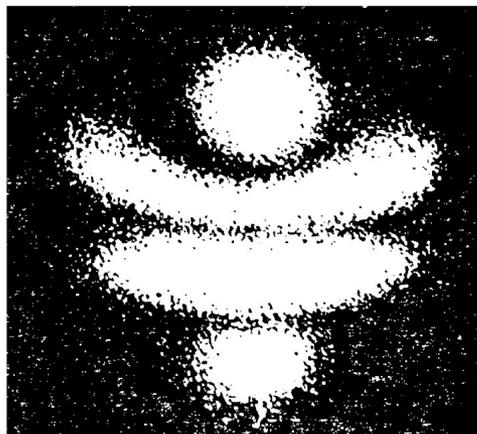
Основное состояние, $n=1$



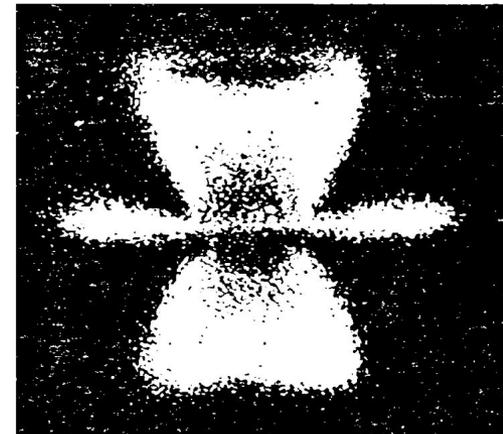
Возбуждённые состояния, $n=2$



Возбуждённое состояние, $n=3$



Возбуждённые состояния, $n=4$



- **1874 г.** - Стони, из чисел Фарадея и Авогадро, определил величину элементарного заряда e и в 1891 г. ввёл термин "электрон";
- **1888 г.** - исследование Столетовым фотоэффекта;
- **1895 г.** - открытие рентгеновских лучей;
- **1896-97 гг.** - Томсон измерил отношение e/m_e элементарного заряда к массе электрона m_e ;
- **1900 г.** - Планк создал квантовую теорию излучения абсолютно чёрного тела и ввёл постоянную h ;
- **1902 г.** - Томсон предложил модель атома с электронами, вкрапленными в размазанный положительный заряд ("пудинг с изюмом");
- **1905 г.** - Эйнштейн объяснил явление фотоэффекта;
- **1906-1911 гг.** - Резерфорд измерил размеры атомного ядра;
- **1913 г.** - планетарная модель атома по Бору;
- **1925-27 гг.** - созданы основы квантовой механики (Гайзенберг, Борн, Йордан, Дирак, Паули, Шрёдингер).

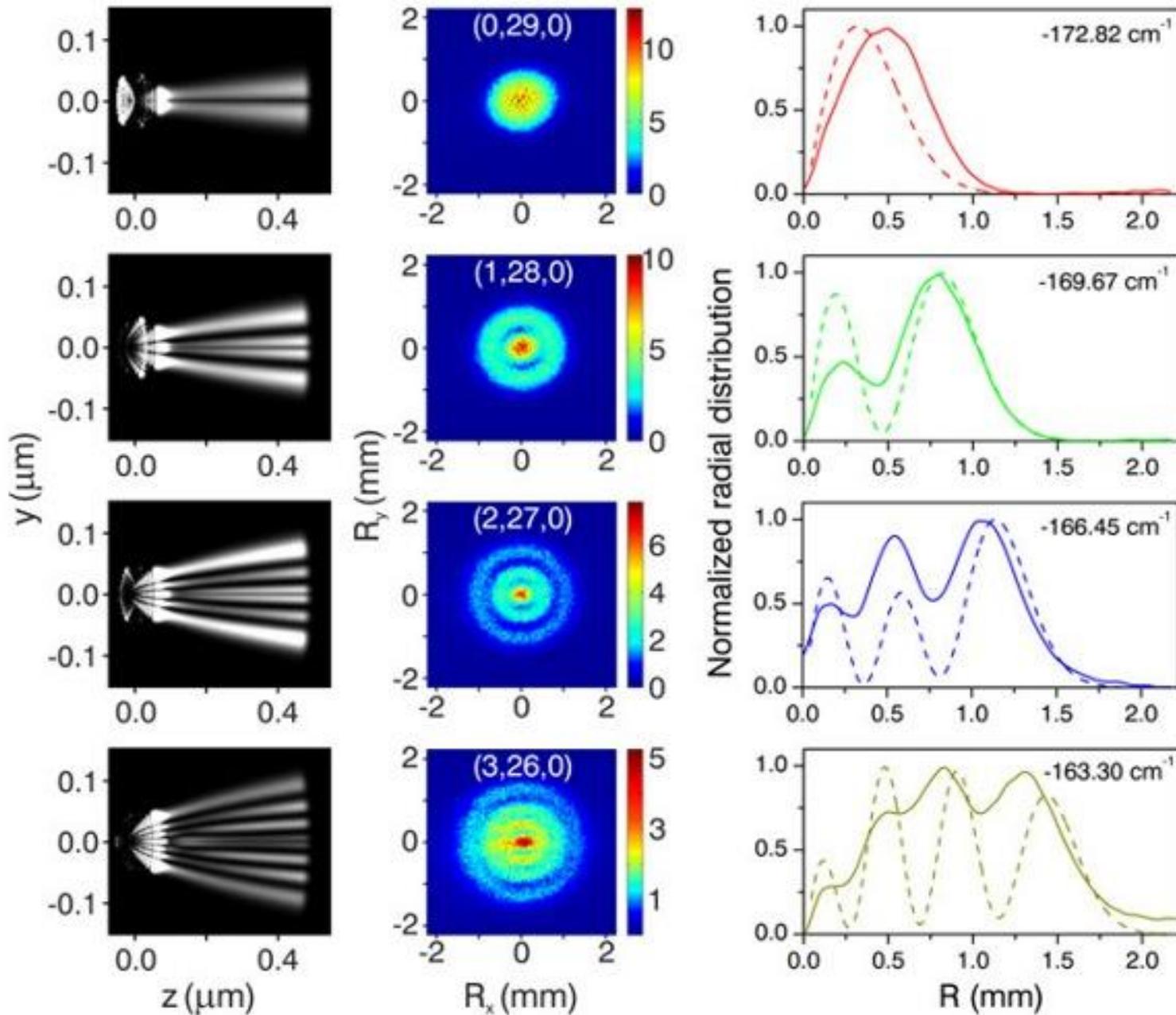
АТОМУ БОРА 100 ЛЕТ

2013 г.

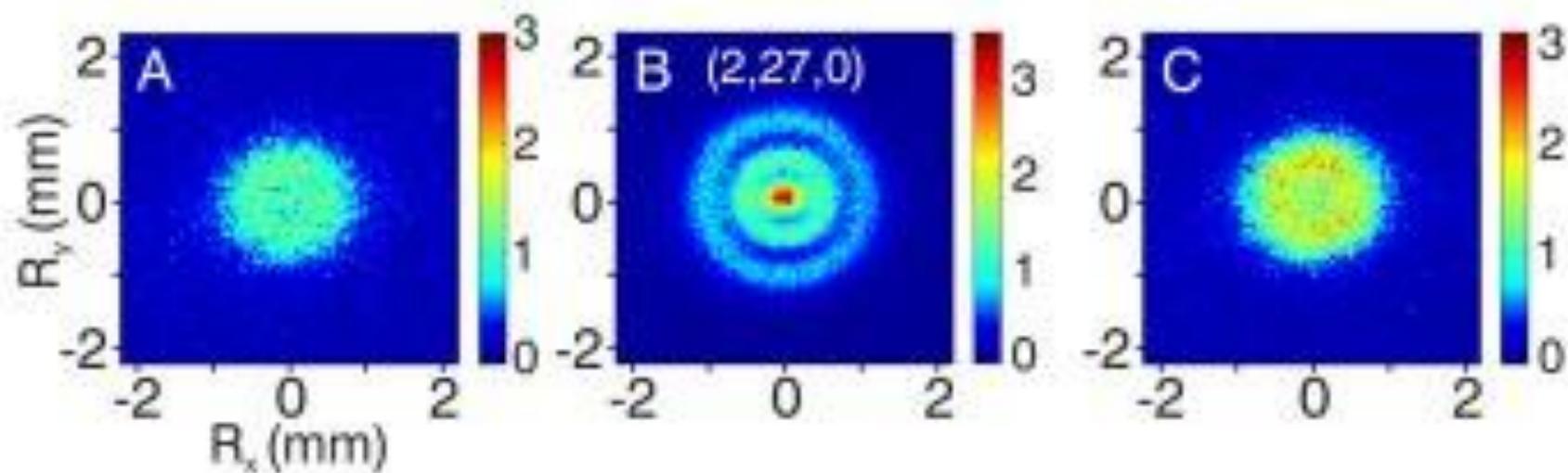
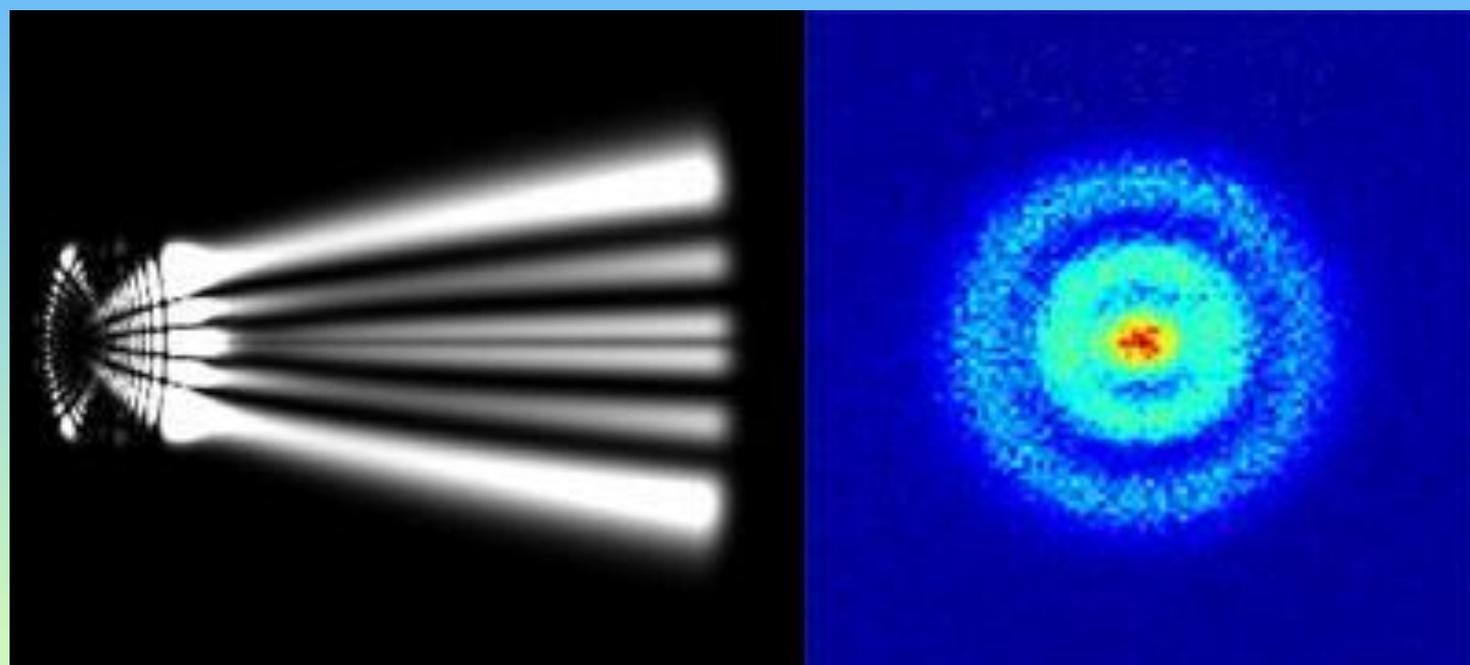
«Квантовый микроскоп» заглядывает в атом водорода

Первое прямое наблюдение орбитальной структуры возбужденного атома водорода было проведено международной группой исследователей, с использованием недавно разработанного «квантового микроскопа», который использует фотоионизационную микроскопию для визуализации структуры напрямую. Демонстрация исследователей доказывает, что «фотоионизационная микроскопия», впервые предложенная более 30 лет назад, может быть экспериментально реализована и может служить в качестве инструмента для изучения тонкостей квантовой механики.

Что там внутри атома водорода?



На рисунке показан основной результат - данные видеокамеры за четыре измерения, когда атомы водорода были возбуждены к состояниям с нулем, одним, двумя и тремя узлами волновой функции для одной из параболических координат. «Если Вы посмотрите на зафиксированные проекции на детекторе, Вы можете легко распознать узлы и увидеть радиальную и кольцевую структуры»



ЛЕКЦИЯ ЗАКОНЧЕНА

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

