

ВОДОРОДОПОДОБ НЫЕ АТОМЫ

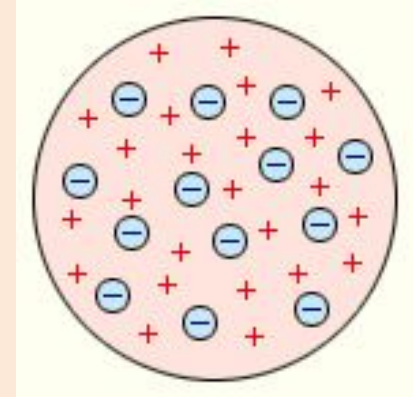
**Гипотеза о том, что
вещества состоят из
атомов, впервые была
высказана Левкиппом и
Демокритом примерно
в IV веке до н. э.**

МОДЕЛИ АТОМА

Ранние модели:

1) Модель Томсона – “булочка с изюмом”

Томсон предложил рассматривать атом как положительно заряженное тело с заключёнными внутри него электронами. Впоследствии модель была опровергнута опытами Резерфорда.



2) Планетарная модель Нагаоки

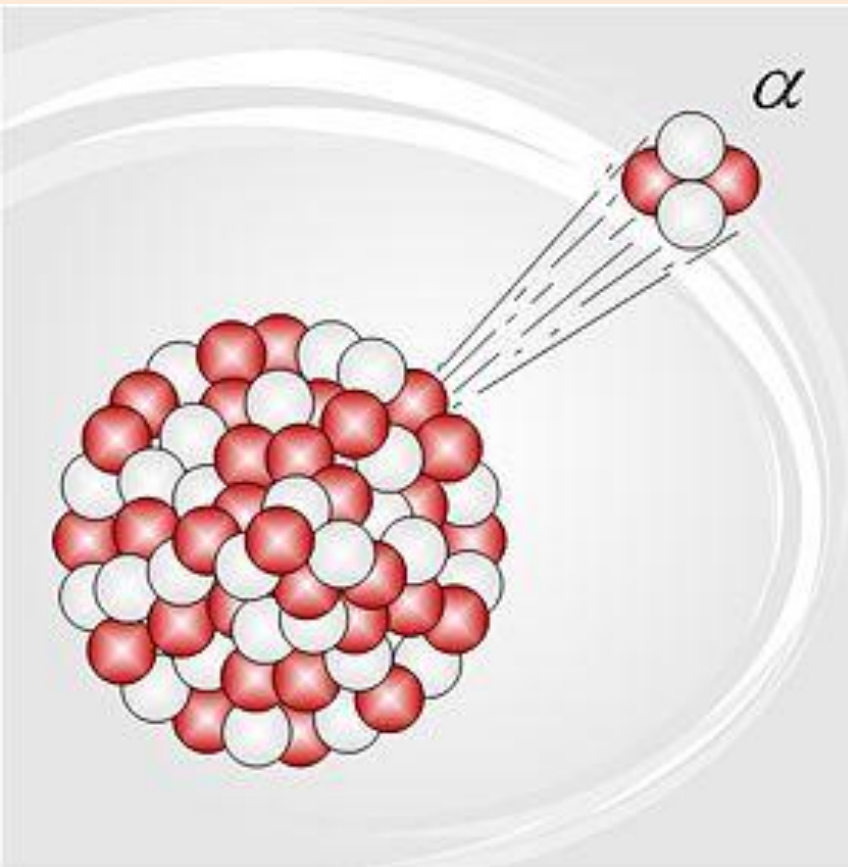
В 1904 году Хантаро Нагаока предложил модель атома, построенную по аналогии с планетой Сатурн: вокруг маленького положительного ядра вращались электроны, объединённые в кольца.



Опыт Резерфорда по рассеянию α -частиц



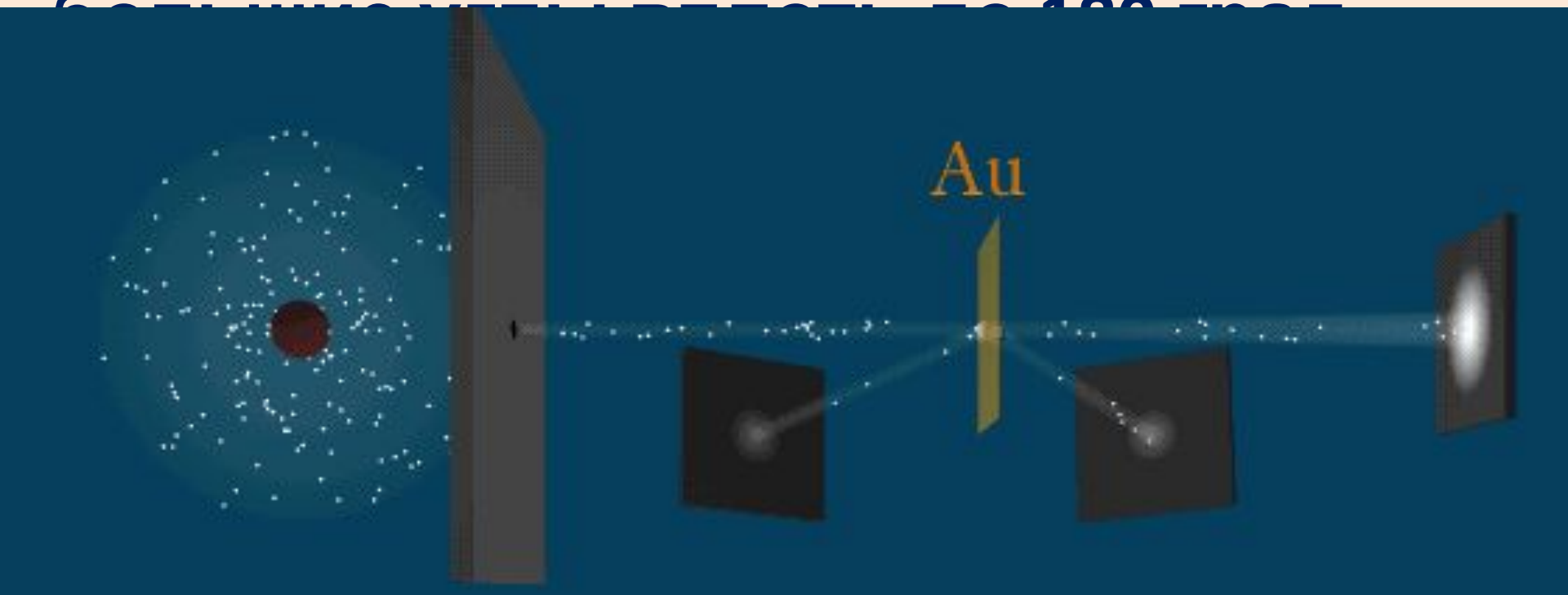
Эрнст
Резерфорд



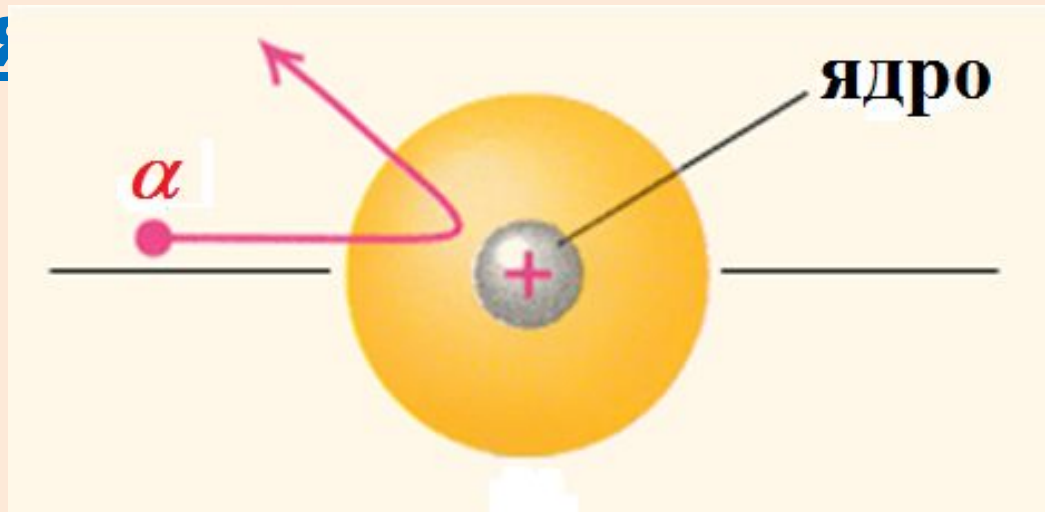
Альфа-частица
образована 2-мя
протонами и 2-мя
нейтронами, заряжена
положительно.
Идентична ядру атома
гелия (${}_{2}\text{He}^{2+}$).

Образуется при α -
распаде ядер. При этом
ее скорость достигает
 $1.6 \cdot 10^7$ м/с .

Резерфорд направил поток α -частиц на золотую фольгу толщиной около 0,1 мкм. Большинство частиц пролетели сквозь фольгу, но некоторые отклонились на очень большие углы, вплоть до 180° .

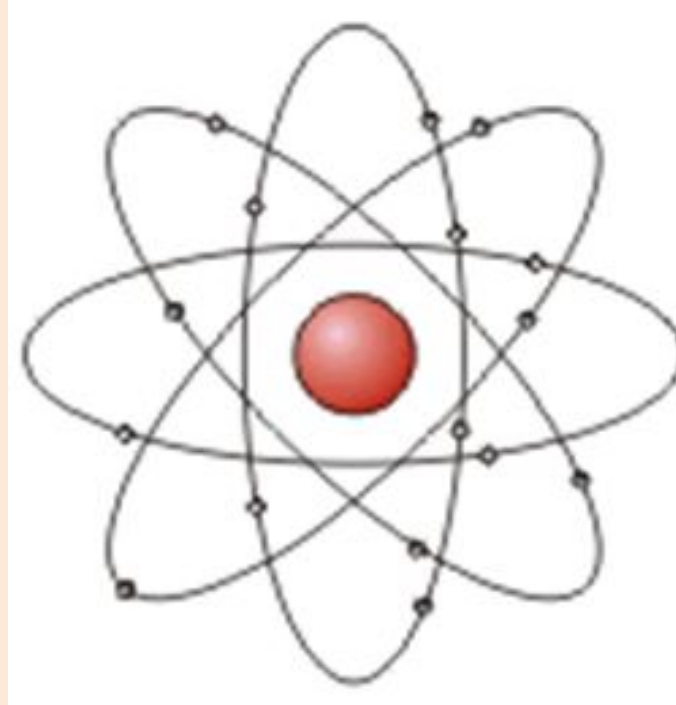


**Резерфорд сделал вывод:
Причиной рассеяния α -частицы
является ее электрическое
взаимодействие с малой по размеру
положительно заряженной частью
атома -**



**В ядре сосредоточена почти вся
масса атома и весь его
положительный заряд**

Планетарная модель атома Резерфорда



Атом представляет собой подобие планетной системы, в которой электроны движутся по орбитам вокруг тяжёлого положительно заряженного ядра

Размер

ядра ^{ы:} $\sim 10^{-15}$, атома 10^{-10} м.

Неустойчивость атома

Согласно классической

электродинамике электрон при движении с центростремительным ускорением должен излучать электромагнитные волны и терять энергию. В итоге он упадёт на ядро.

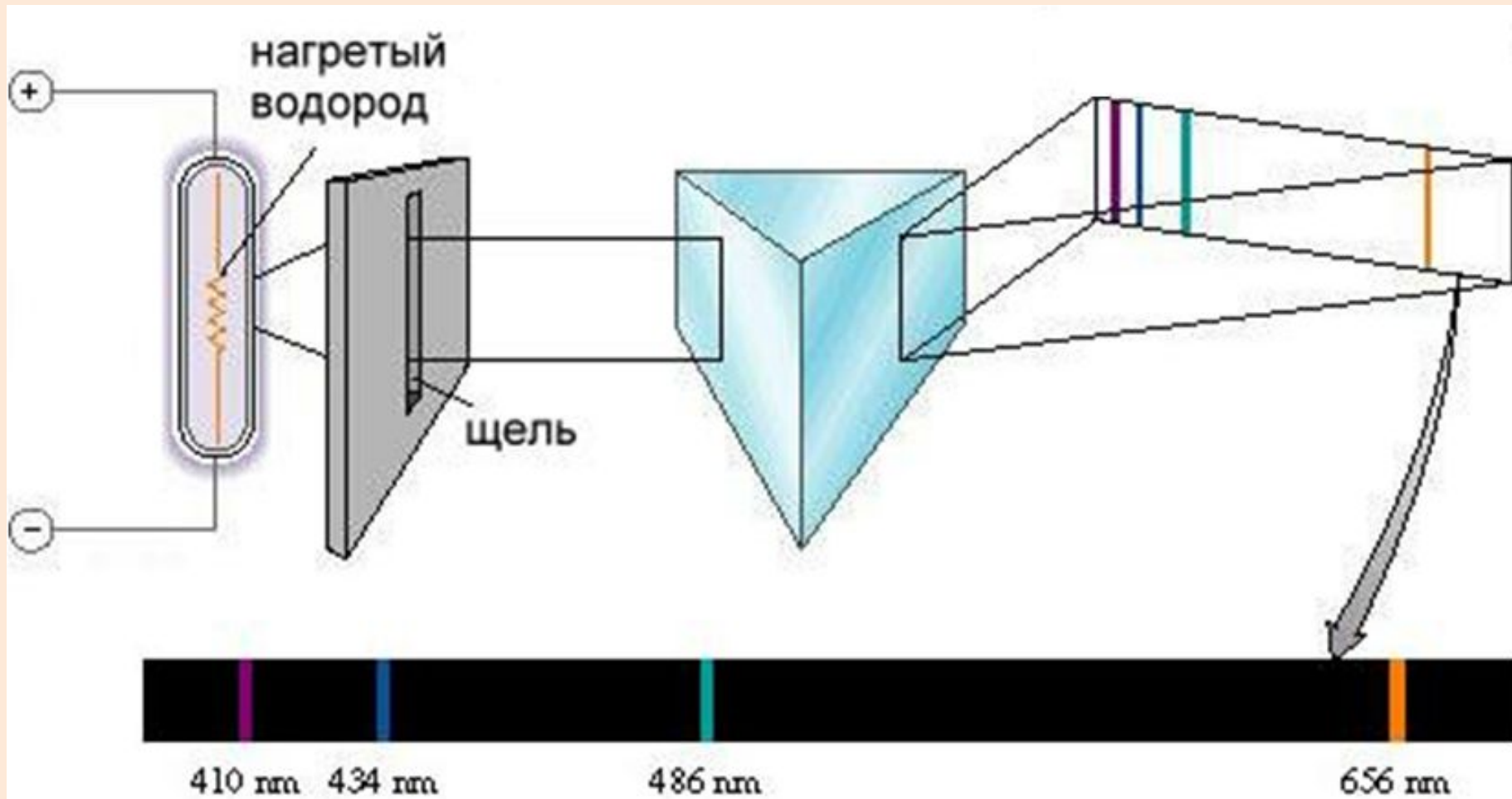
Для объяснения стабильности атомов Нильсу Бору пришлось ввести особые предположения – постулаты. Постулаты Бора показали, что для атома классическая

Теория водородоподобного атома по Бору

**При построении теории Бор
опирался на опыт Резерфорда
и данные по спектрам
атомарных газов. Согласно
опыту эти спектры
линейчатые.**

- Водородоподобный атом – это атом с одним внешним электроном: Na, K, Rb, Cs.
- Спектр атома – это набор излучаемых или поглощаемых частот.

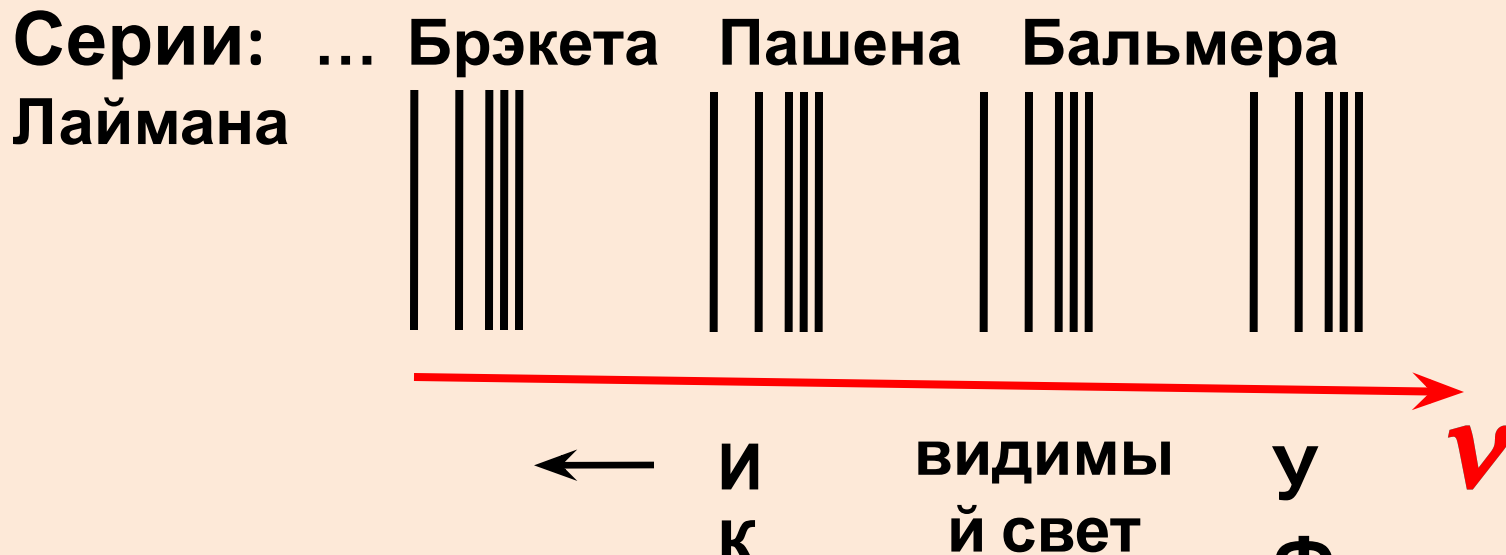




Спектр испускания атомарного водорода.

Спектр атома водорода образован сериями линий. Линии сгущаются к высокочастотной границе серии. В видимой области наблюдается серия Бальмера.

Еще одна серия есть в УФ области. А в ИК диапазоне – много серий.



Бальмер подобрал формулу для частот спектральных линий:

$$\nu_{nm} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Для серии Бальмера $m = 2, n = 3, 4, 5, \dots$

Для серии Лаймана $m = 1, n = 2, 3, 4, \dots$

R - постоянная Ридберга

$$R = 3,3 \cdot 10^{15} \text{ Гц.}$$

Постулаты Бора

Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний)

Атом может находиться только в особых стационарных или квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия W_n .

В стационарных состояниях атом не излучает.

Второй постулат Бора (правило частот)

При переходе атома из одного стационарного состояния с энергией

W_n в другое с энергией W_m

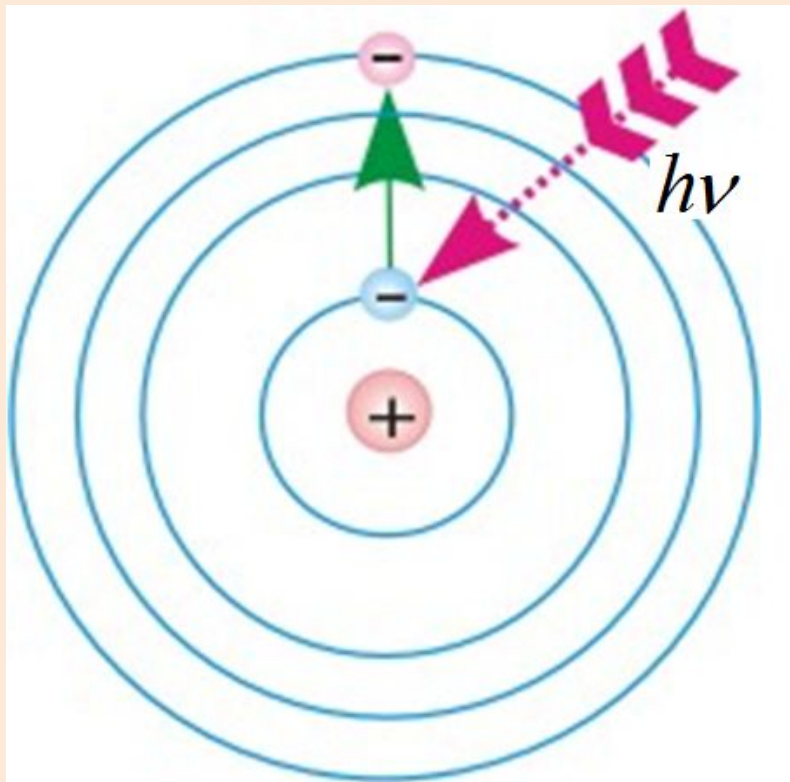
излучается или поглощается квант,

энергия которого равна разности

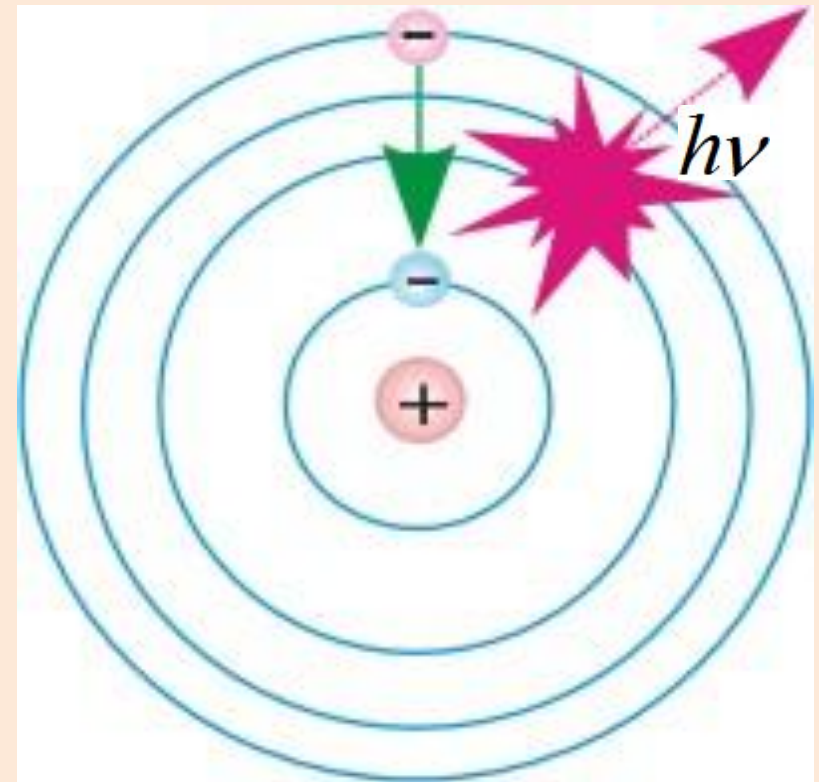
энергий этих состояний.

$$h\nu_{nm} = W_n - W_m$$

Квант света поглощается



Квант света излучается



Третий постулат (квантование орбит)

Момент импульса электрона в атоме принимает только дискретные значения, кратные постоянной Планка:

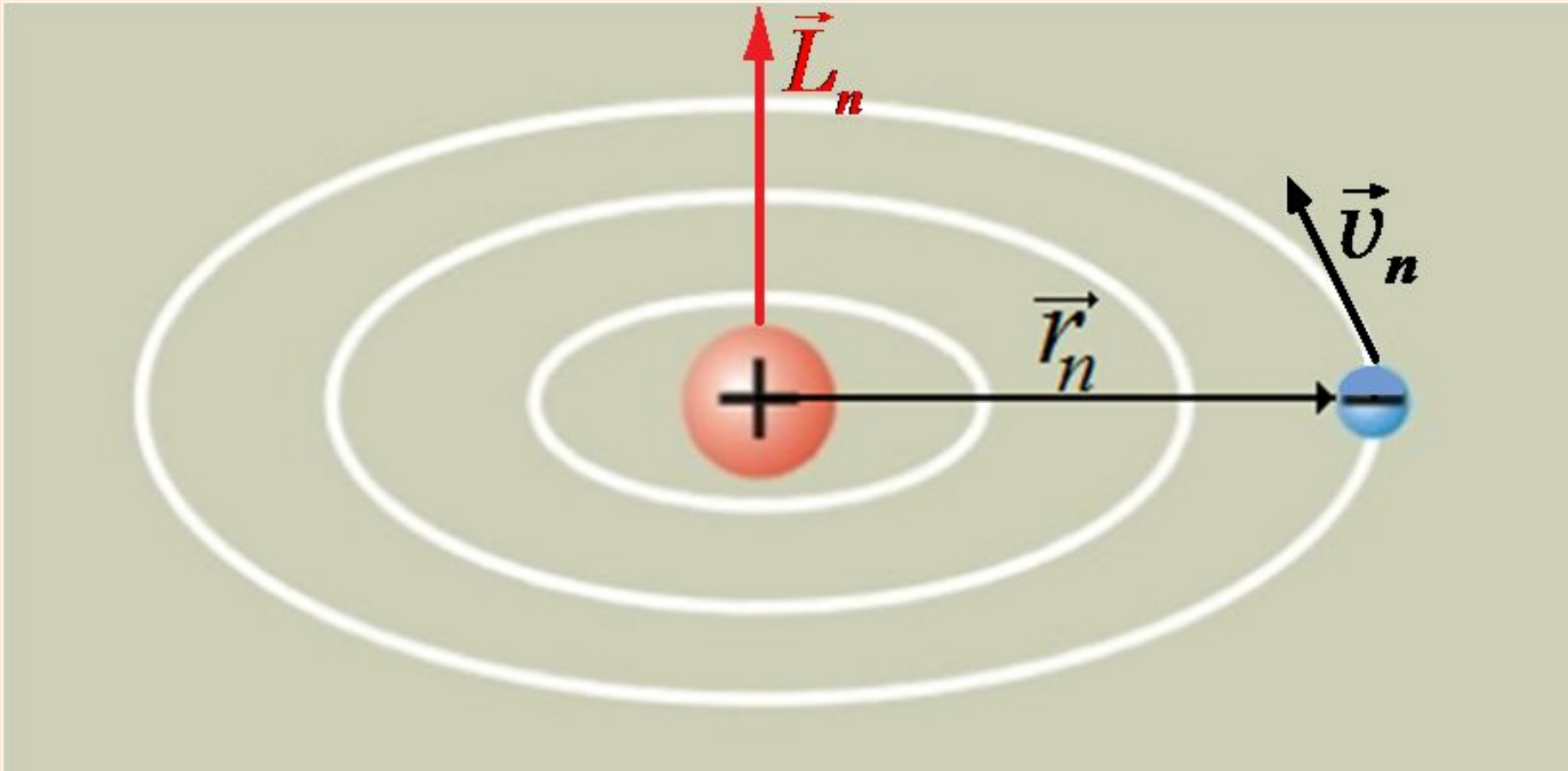
$$m v_n r_n = n \hbar$$

m – масса электрона,

v_n – его скорость на орбите радиуса

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

Момент импульса $\vec{L}_n = m \vec{v}_n r_n$



На электрон действует
кулоновская сила. По 2-му закону

Ньютона
 $ma = F_K$

$$m \frac{v^2}{r} = k \frac{Ze \cdot e}{r^2}$$

$$r_n = \frac{\hbar^2}{kZe^2 m} n^2$$

Радиус ближайшей к ядру орбиты называют первым боровским радиусом.

$$a_B = r_1 = \frac{\hbar^2}{kZe^2 m} = 52,8 \text{ пм}$$

Z — заряд ядра, $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

Полная энергия электрона в атоме:

$$W_n = -\frac{k^2 e^4 m}{2\hbar^2} \cdot \frac{Z^2}{n^2}$$

**Энергия электрона на первой
боровской орбите в атоме
водорода:**

$$W_1 = -13,55$$



**Энергия
электрона в
атоме
отрицатель
на. При
удалении от
ядра она
стремится к
нулю.**

Частота излучения при переходе с n -го на m -й уровень энергии:

$$\nu_{nm} = \frac{W_m - W_n}{h} = \frac{k^2 m_e e^4}{2\hbar^3} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

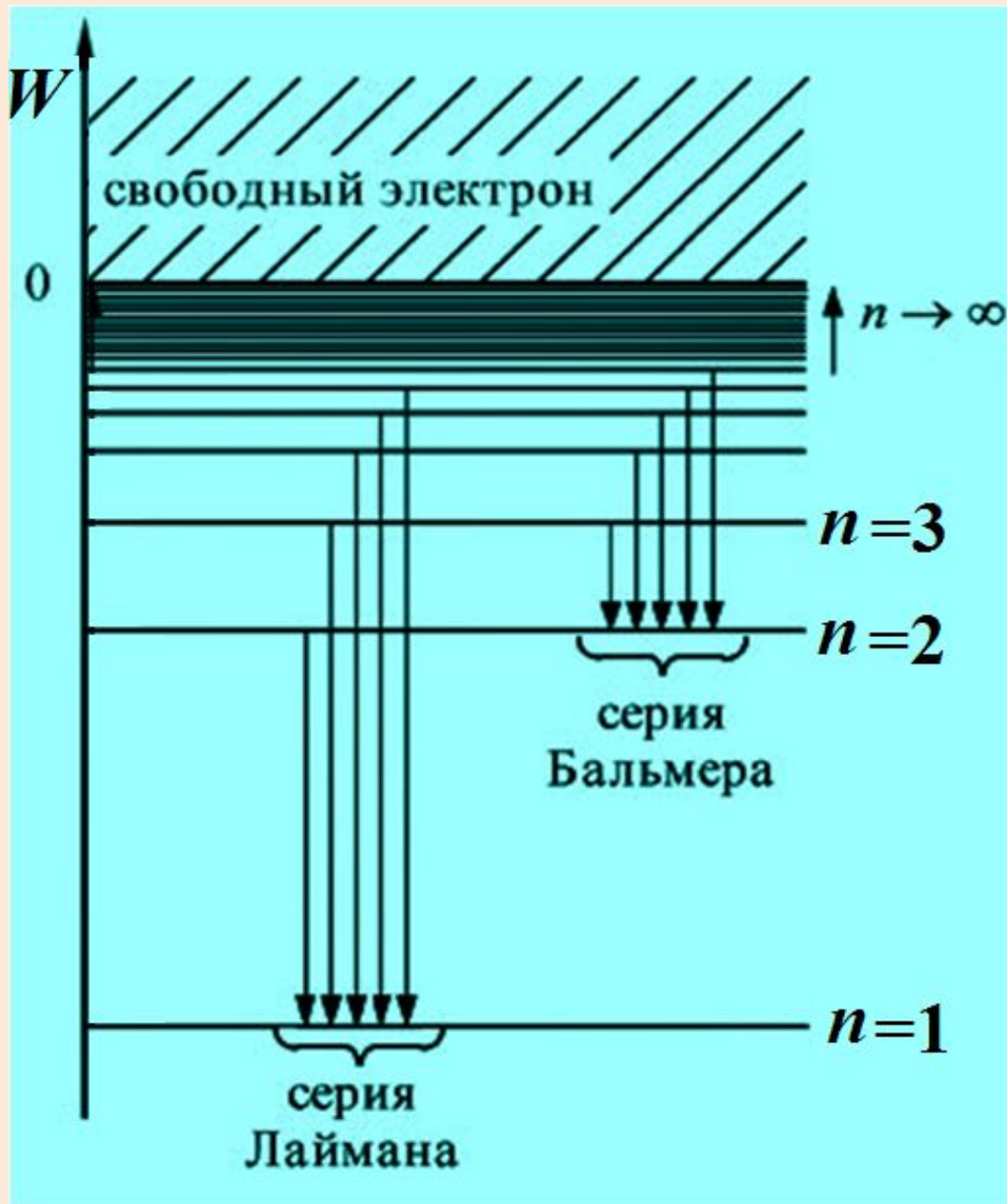
$R=3,3 \cdot 10^{15}$ Гц - частотная константа Ридберга, ее значение совпало с угаданным Бальмером

Длина волны:

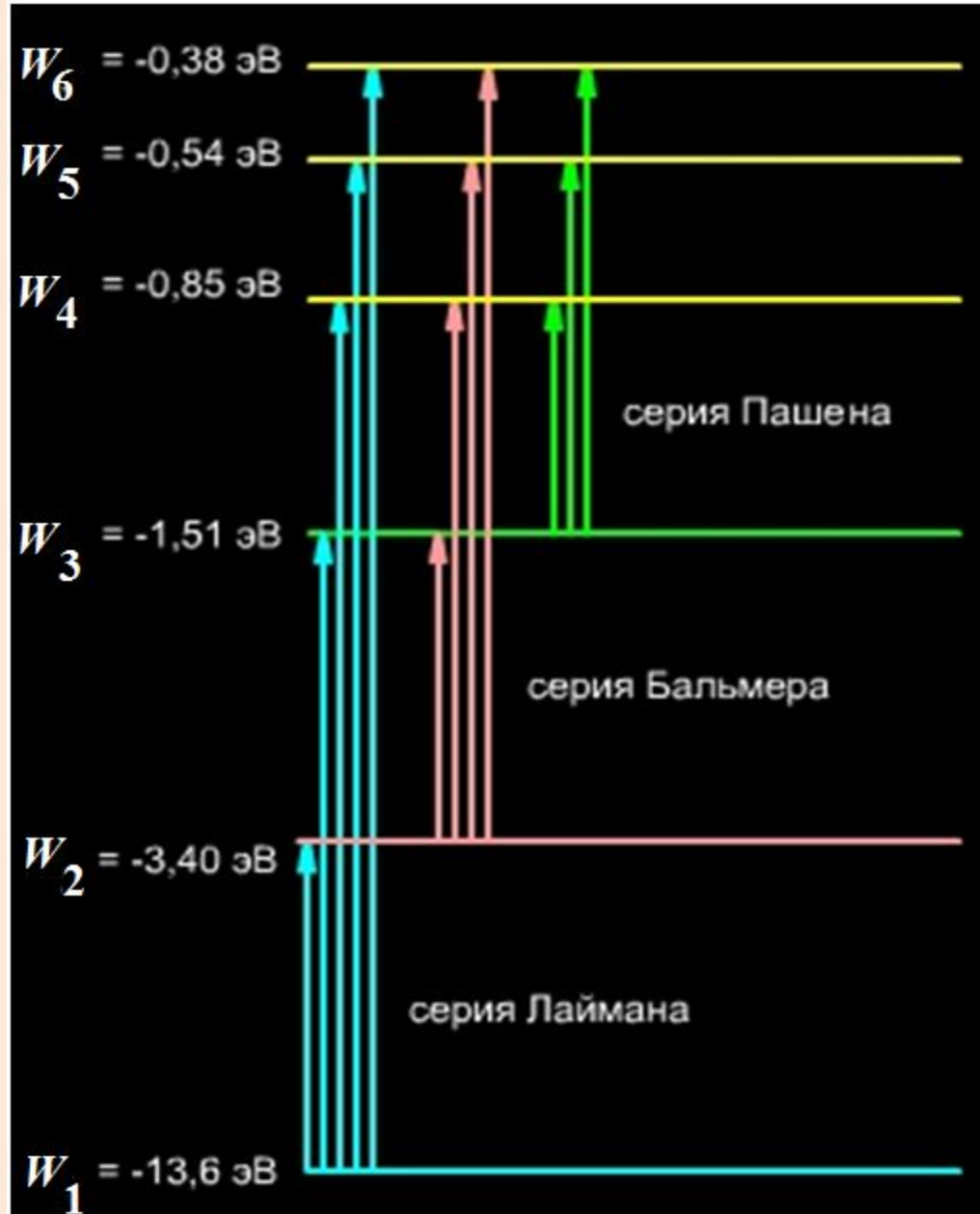
$$\frac{1}{\lambda_{nm}} = R' \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$R'=1,1 \cdot 10^7$ м⁻¹ - волновая константа Ридберга

Спектры излучения водорода



Спектры поглощения водорода



Для серии

Лаймана $m=1, n=2, 3, 4, \dots$

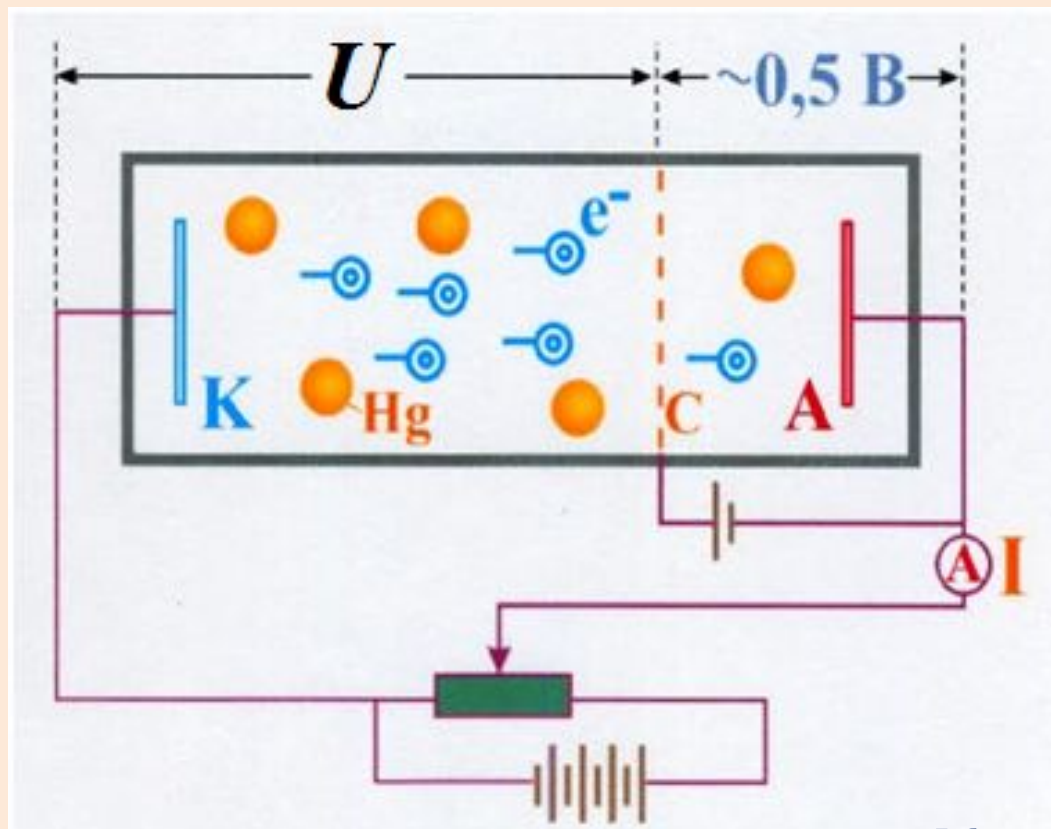
Бальмера $m=2, n=3, 4, 5, \dots$

Пашена $m=3, n=4, 5, 6, \dots$

Опыт Франка и Герца

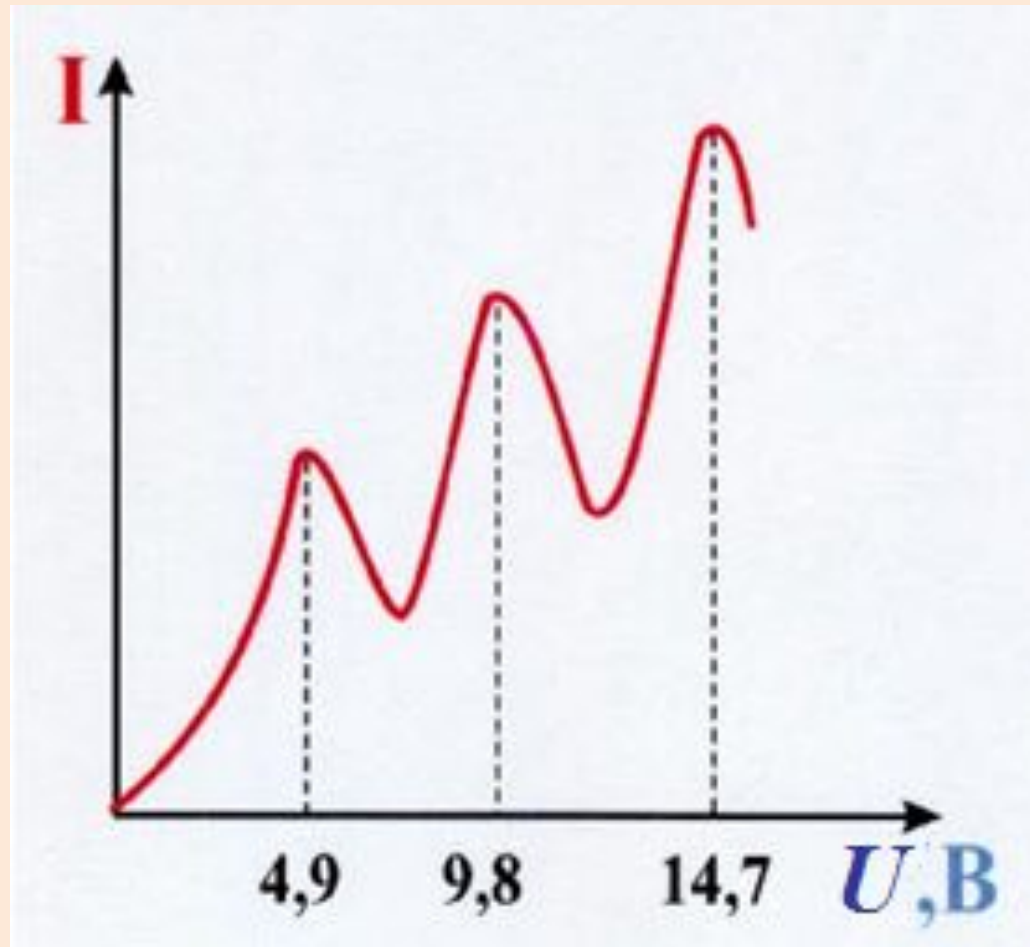
Квантовые постулаты Бора
нашли экспериментальное
подтверждение в опыте Дж.
Франка и Г. Герца.

Опыт заключался в пропускании
электронного пучка через пары
ртути.



Электроны, испускаемые катодом К, ускорятся в электрическом поле, созданном между катодом и анодом А. Между катодом и сеткой С поддерживается небольшое (~1В) задерживающее напряжение, которое не пропускает «ослабевшие» электроны к аноду.

BAX



Через пары ртути пропускаться поток электронов, энергия которых постепенно увеличивалась. Сначала электроны, сталкиваясь с атомами ртути, не теряют своей энергии, то есть удары упругие. И электрический ток растет. Когда же энергия электронов становится равной 4.9 эВ атомы ртути переходят в возбужденное состояние, забирая энергию у электронов, ток падает. Опыт Франка - Герца показал, что спектр поглощаемой атомом энергии дискретен. Минимальная порция, которую может поглотить атом ртути Hg, равна 4,9 эВ.

**Теория Бора дала не
только качественное, но
и количественное
описание атомных
спектров, а также
опытов Франка и Герца.**

Достоинства и недостатки теории Бора

• Достоинства:

- 1. Объяснила линейчатый спектр атомов.
- 2. Предсказала значения частот.
- 3. Правильно определила размеры атома водорода.
- 4. Рассчитала константу Ридберга.

• Недостатки:

- 1. Для объяснения квантовых явлений использовала не только квантовую, но и классическую физику.
- 2. Не смогла рассчитать интенсивность спектра излучения.
- 3. Не дает объяснений причин перехода между уровнями энергии.

Квантовая теория атома

**Электрон в атоме находится в
потенциальной яме. Применим к нему
уравнение Шредингера**

$$\Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2} (W - U)\psi = 0$$

**Решение уравнения дает дискретные
значения энергии**

$$W_n = -R \frac{Z^2 h}{n^2},$$

**совпадающие с полученными
Бором**

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

**Оно определяет энергию
электрона, степень его
удаленности от ядра, размеры
электронной орбиты.**

Квантование момента

импульса

Модуль момента импульса
электрона L принимает
дискретные значения:

$$L = \hbar \sqrt{l(l+1)}$$

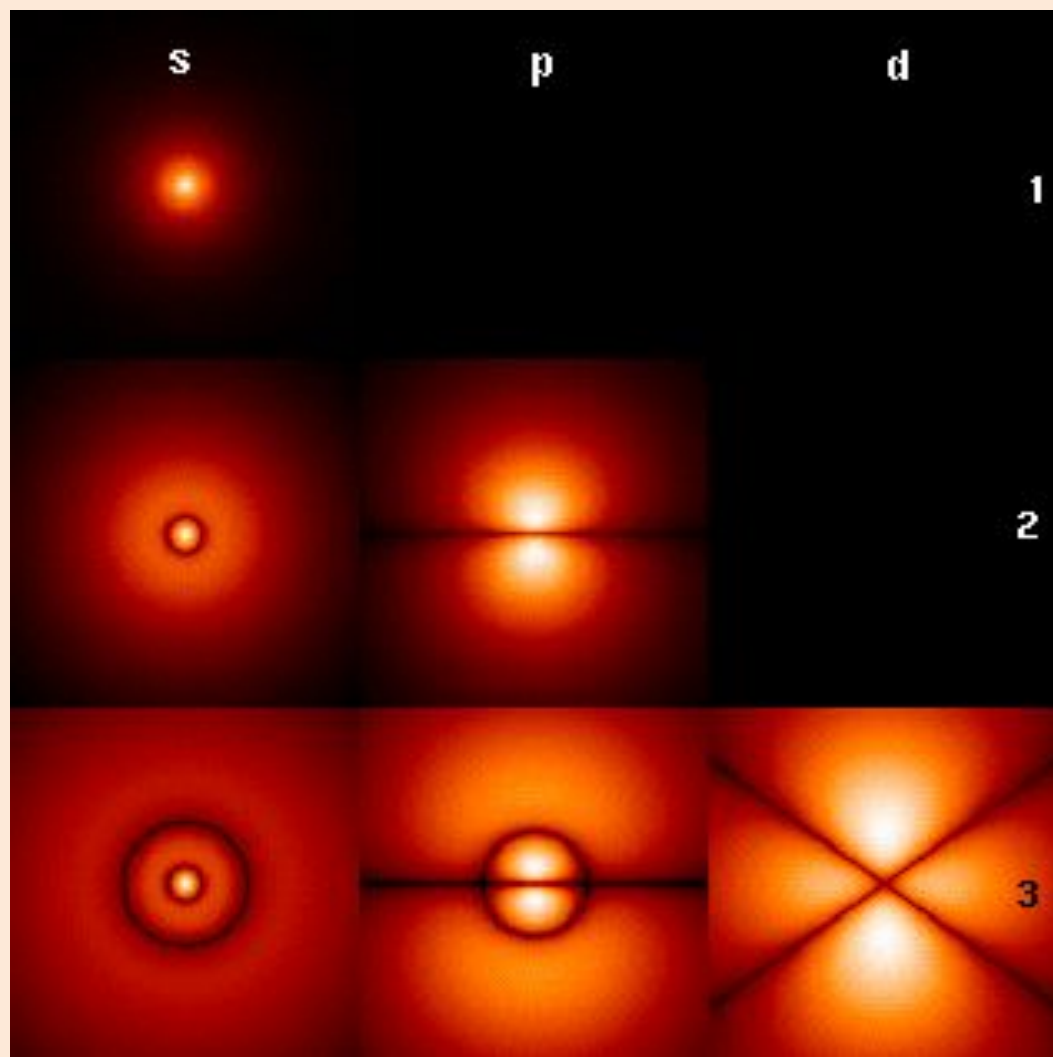
$l = 0, 1, 2, \dots, n-1$ - орбитальное квантовое
число.

Оно определяет размер и
форму электронной орбиты.

Состояния с различными l обозначают латинскими

l	Обозначение
0	s
1	p
2	d
3	f

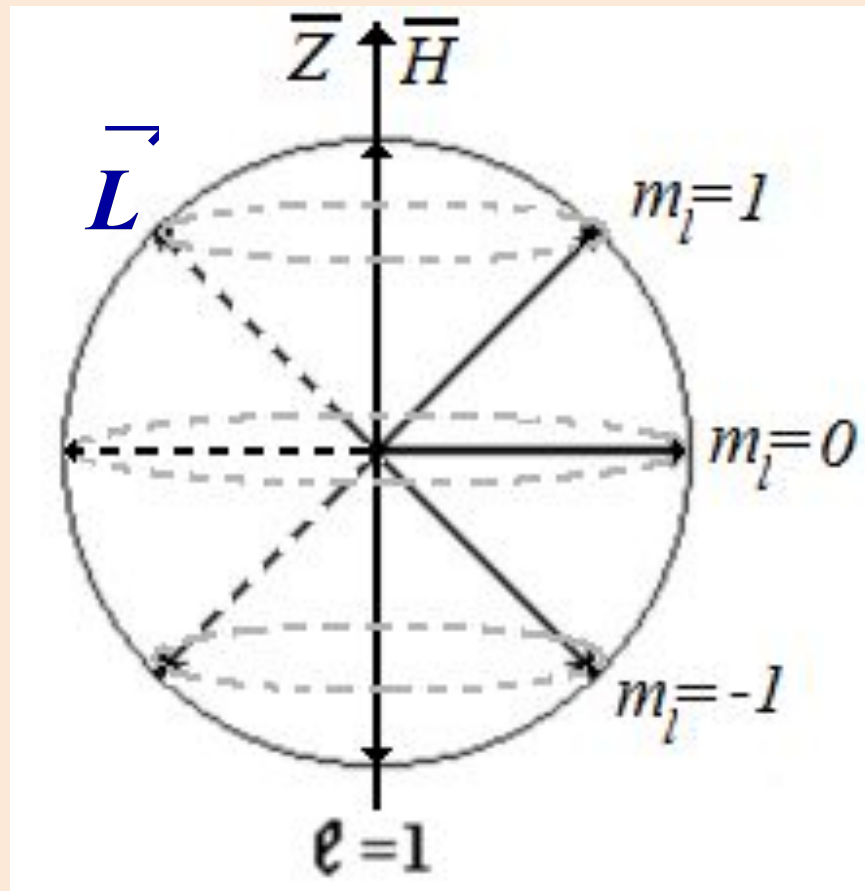
Вид орбітали	Форма орбітали
s	
p	
d	
f	



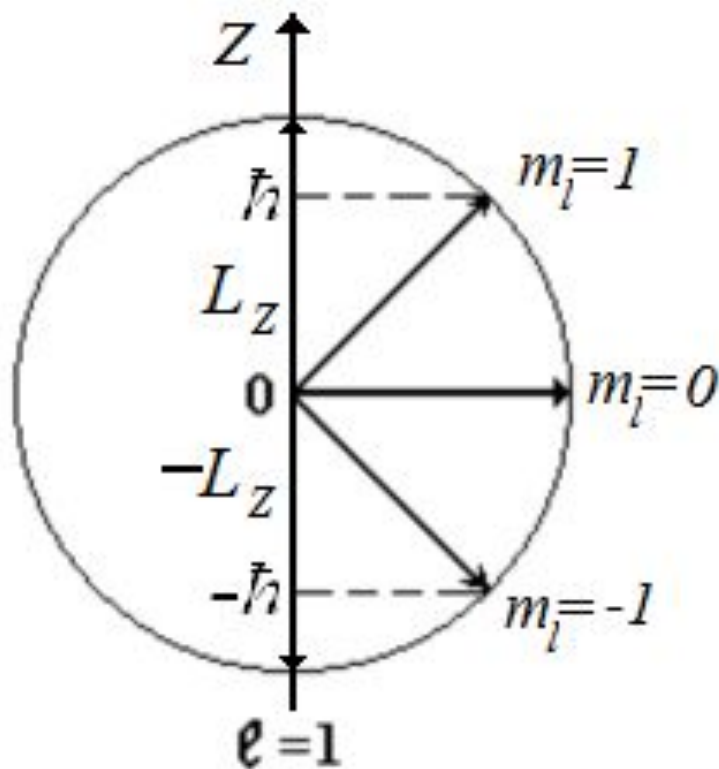
**Выделим в пространстве
какое-либо направление,
например, направление
магнитного поля.**

**Проекция момента
импульса электрона на это
направление может иметь
только дискретные
значения.**

Вектор момента импульса электрона прецессирует вокруг направления магнитного поля \vec{H} .



Проекция момента импульса на направление z имеет дискретные значения: $L_z = m\hbar$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \pm \ell$)



$\ell = 1$
 p - состояние: 3 проекции

m – магнитное квантовое

число

Оно задает ориентацию орбиты в пространстве.

Аналогично механическому
моменту импульса квантуется
орбитальный магнитный момент
электрона:
$$\vec{M}_\ell = g\vec{L}$$

$g = -\frac{e}{2m}$ – гиромагнитное отношение

$$M_\ell = g\hbar\sqrt{l(l+1)} = -\mu_B\sqrt{l(l+1)}$$

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m} \text{ – магнетон Бора}$$

Квантование спина

Спин электрона \vec{L}_s – это его собственный момент импульса.

Спин квантуется по закону:

$$L_s = \hbar \sqrt{s(s+1)}$$

$$s = \frac{1}{2}$$

спиновое
квантовое число

Собственный магнитный момент электрона:

$$\vec{M}_S = -2g\vec{L}_S = -\frac{e}{m}\vec{L}_S$$

$$\vec{M}_S = -\frac{e\hbar}{m}\sqrt{s(s+1)} = 2\mu_B\sqrt{s(s+1)}$$

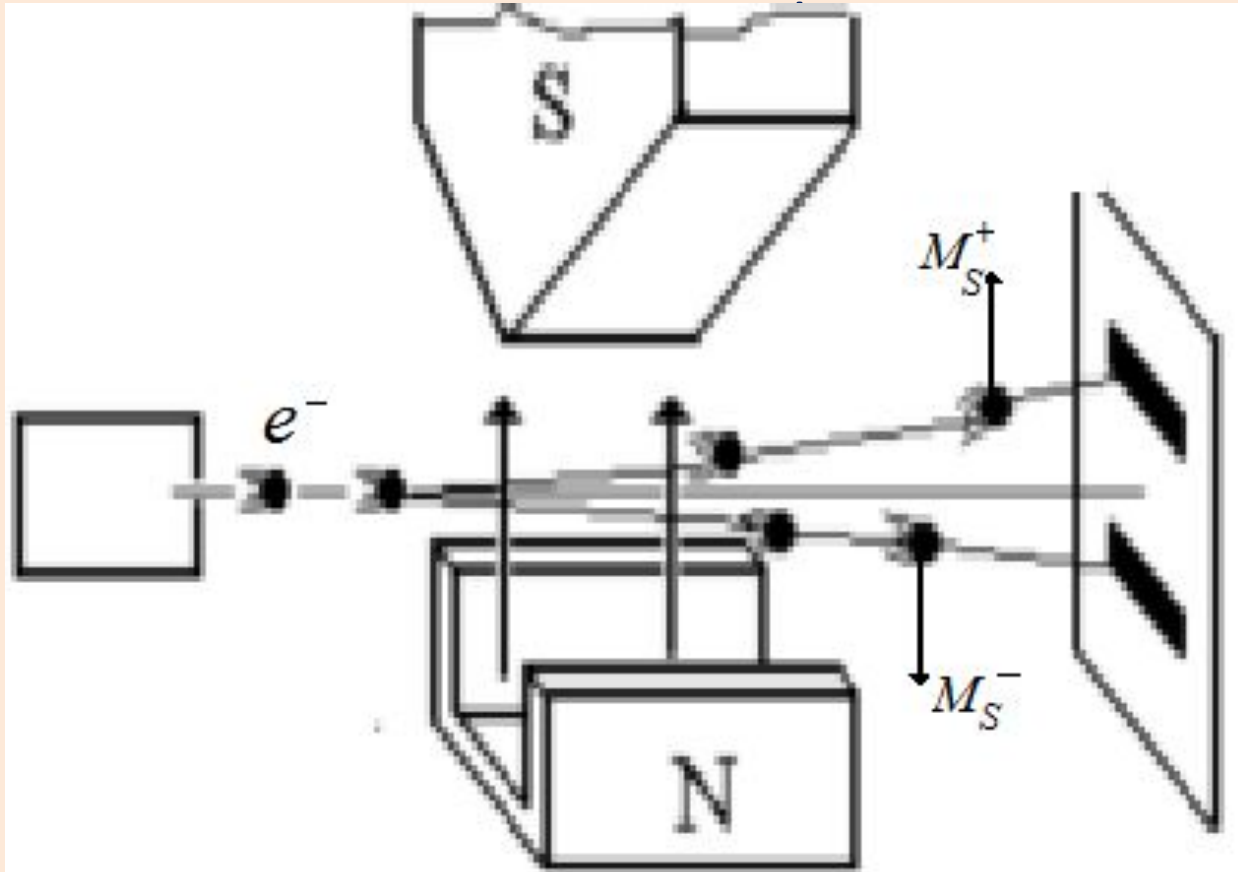
Проекция спина электрона на направление магнитного поля может принимать только одно из двух значений

$$L_{s,z} = m_s \hbar$$

$$m_s = \pm \frac{1}{2} - \begin{array}{l} \text{магнитное} \\ \text{спиновое} \\ \text{квантовое число} \end{array}$$

**Квантование спина
электрона
экспериментально
доказано опытами
Штерна и Герлаха.**

Опыт заключался в прохождении пучка электронов через сильно неоднородное магнитное поле. Наблюдалось разделение потока электронов на два пучка с противоположными магнитными



Вывод:

Состояние электрона в атоме определяется набором 4-х квантовых чисел:

□ главного n , ($n = 1, 2, 3, \dots$)

□ орбитального l , ($l = 0, 1, 2, \dots, n-1$)

□ магнитного m , ($m = -l, \dots, -1, 0, 1, \dots, l$)

□ спинового магнитного m_S , ($m_S = -1/2, +1/2$)

**Число состояний на
энергетическом уровне с
главным квантовым числом**

***n*:**

$$N = 2 \sum_{\ell=0}^{n-1} (2\ell + 1) = 2n^2$$

с учетом спина

Совокупность электронов с одинаковым главным числом n образует

n	Оболочка	Число электронов
1	K	2
2	L	8
3	M	18
4	N	32

Правила отбора:

**ВОЗМОЖНЫ ЛИШЬ ТАКИЕ
переходы между
состояниями, при которых**

$$\Delta l = \pm 1; \quad \Delta m_l = 0, \pm 1.$$

Серия Лаймана:

$$np \rightarrow 1s$$

$$n = 2, 3 \dots$$

Серия Бальмера:

$$np \rightarrow 2s, ns \rightarrow 2p, nd \rightarrow 2p$$

$$n = 3, 4 \dots$$