

# Атомная физика

**Проблема: у света  $\exists$  корпускулярные свойства (а не только волновые!)**

- Если считать суммарную мощность излучения абсолютно черного тела по классической электродинамике (Рэлей & Джинс), то получается **абсурдный** результат ( $Wx \rightarrow \infty$ ). Но все становится разумным, если верна непонятная гипотеза **Макса Планка** о том, что излучение не непрерывно, а возможно лишь порциями  $\varepsilon = h\nu$ , где  $h = 6.624 \cdot 10^{-27}$  эрг (постоянная Планка), а  $\nu$  - частота излучения.
- В рентгеновском спектре  $\exists$  **левая граница** ( $\lambda \geq \lambda_{min}$ ), зависящая от напряжения питания рентгеновской трубки U:  $\lambda_{min}[\text{\AA}] = 12350/U[V]$ . То есть, вроде как и в самом деле один электрон с  $E = eU$  не может породить фотон с  $h\nu = \varepsilon > E$ .
- **Фотоэффект**: ток не зависит от напряжения ( $\exists$  насыщение), но пропорционален интенсивности облучения светом; тока нет совсем, если  $\lambda \geq \lambda_{min}$  (то есть, если энергия одного фотона  $<$  работы выхода электрона из облучаемого металла). При уменьшении  $\lambda$  энергия выбитых электронов растет линейно с частотой света. Кроме того, фотоэлектроны появляются **сразу** после начала облучения (даже если свет **ОЧЕНЬ** слабый) – то есть, нет “накопления” энергии слабой волны до порогового значения.

**Альберт Эйнштейн**: не только излучение, но и поглощение света идет **КВАНТАМИ**. Вывод: свет – это **ФОТОНЫ** (=кванты электромагнитного излучения). Свойства -?

- Энергия фотона:  $\varepsilon = h\nu$   
ИК:  $\lambda = 10\mu m$   $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-13}$  эрг  $\simeq 0.1$  эВ  
видимый свет:  $\lambda = 5000\text{\AA}$   $\varepsilon = 4 \cdot 10^{-12}$  эрг  $\simeq 2.5$  эВ  
Х-лучи:  $\lambda = 0.1 \text{\AA}$   $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-7}$  эрг  $\simeq 70$  кэВ  
Корпускулярные св-ва проявляются сильнее при больших энергиях (малых  $\lambda$ )
- Масса фотона  $= 0$  (т.к. фотон *по определению* движется со скоростью света, а энергия не  $\infty$ , то его масса по законам релятивистской механики просто обязана быть  $\equiv 0$ ).
- Количество движения (импульс) фотона связан с его энергией:

$$E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2 \quad (m = 0) \Rightarrow \quad E = pc \quad \Rightarrow \quad p = \frac{h\nu}{c}$$

И действительно, известно “световое давление”!

- **Артур Комптон** (1923): рассеяние Х-лучей. Среди рассеянных  $\exists$  лучи не только с  $\lambda = \lambda_0$ , но и с  $\lambda > \lambda_0$ !!!  
Объяснение: до рассеяния был фотон с энергией  $h\nu_1$  и импульсом  $\vec{p}_\gamma$  + покоящийся  $e^-$ . После рассеяния  $e^-$  приобрел отдачу (энергию  $E_e$  и импульс  $\vec{p}_e$ ), а фотон **ЭТО ЖЕ** потерял:  $h\nu_2 = h\nu_1 - E_e$ ,  $\vec{p}_2 = \vec{p}_1 - \vec{p}_e$ . Если все аккуратно посчитать, то можно получить известную формулу:

$$E_1 - E_2 = \frac{E_1 E_2}{mc^2} (1 - \cos \varphi) \quad \text{или} \quad \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{hc}{mc^2} (1 - \cos \varphi)$$

где  $\varphi$  – угол рассеяния фотона.

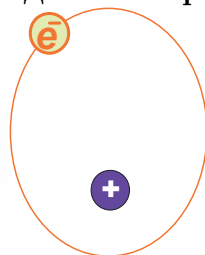
Но и волновые свойства света никто не отменял (интерференция, дифракция, поляризация, отражение, преломление)...

Накопилось много фактов, толкающих к созданию новой (не классической) физики, которая бы все это как-то объясняла.

## Проблемы со строением атома.

### Модель Томсона    Модель Резерфорда

Атом – это равномерно (или почти равномерно) положительно заряженный шарик, и в нем мечутся точечные отрицательные электроны).



Атом – это положительно заряженное точечное массивное ядро, и вокруг него (как планеты вокруг Солнца) летают точечные отрицательные электроны).

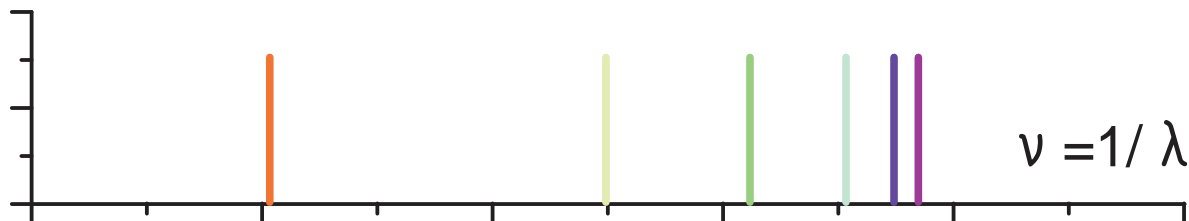
Первая модель: почему заряженный рыхлый шарик не разваливается? Если он не рыхлый – то как электрон через него проникает?

Вторая модель лучше. Но непонятно: почему движущийся электрон не излучает и почему он не падает на ядро?

Опыт Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц: если бы шарик был рыхлым, то не было бы рассеяния на большие углы (а оно бывает). Вывод: ядро есть! Но почему же нет излучения?...

## Проблемы с оптическими спектрами.

**Бальмер** (Базель, 1885): в линейчатых спектрах испускания  $\exists$  какая-то странная закономерность.



$$\lambda_n = \lambda_0 \cdot \frac{n^2}{n^2 - 4}$$

где  $n$  – некоторое целое число:  $n=3, 4, 5, \dots$

В спектроскопии традиционно вместо обычной частоты принято использовать волновое число  $\nu$  (сколько  $\lambda$  уместится в 1 см):

$$\nu \equiv \frac{1 \text{ см}}{\lambda} \quad [\nu] = \text{см}^{-1}.$$

Так вот, у Бальмера получилось, что для многих атомов  $\nu = A - R/n^2$ .

Позднее **Ридберг** (Лунд, Швеция, 1888) определил, что  $A = R/4$  (выполняется очень точно!), и тогда можно сказать, что

$$\nu = R \cdot \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad R = 109737.316 \text{ см}^{-1}$$

(потом эту константу  $R$  называли постоянной Ридберга).

Получалось, что есть какие-то ТЕРМЫ (наподобие энергетических уровней), и излучение – это комбинация РАЗНОСТЕЙ между термами. Для них даже придумали названия: 1S, 2P, 3P, 4D, и т.д.

В это время **Нильс Бор** (Копенгаген, 1913) как раз думал об устройстве атома. “Как только я увидел формулу Бальмера, весь вопрос стал мне немедленно ясен.”

## Атом, который построил Бор

Есть **дискретные стационарные** состояния атома. Находясь в них, атом ничего не излучает. Излучение возникает (или поглощается) только при переходе между состояниями. Что это за состояния? Бор: стационарными являются лишь те, для которых угловой момент количества движения ( $\mathcal{L} = pr = \mathcal{I}\omega = m \cdot v \cdot r$ ) кратен целому числу:

$$\mathcal{L} = n \cdot \hbar = n \cdot \frac{h}{2\pi} \quad \left( \hbar = \frac{h}{2\pi} \right)$$

Если считать, что электрон крутится по круговой орбите с радиусом  $r$  и удерживается на ней кулоновской силой, то:

$$\text{(центростремительная сила:)} \quad \frac{mv^2}{r} = \frac{Ze^2}{r^2} \quad \text{(- кулоновская сила)}$$

учтем, что по Бору  $mvr = n\hbar$ , избавимся от  $v$  и затем найдем  $r$ :

$$v = \frac{n\hbar}{mr} \quad \frac{mn^2\hbar^2}{m^2r} = Ze^2 \quad r = \frac{n^2\hbar^2}{Zme^2}$$

Если теперь вычислить первый боровский радиус  $a_0$  (то есть, положить  $Z=1$  и  $n=1$ ), то получим нечто очень похожее на правду:

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{me^2} = 0.529 \text{ \AA}$$