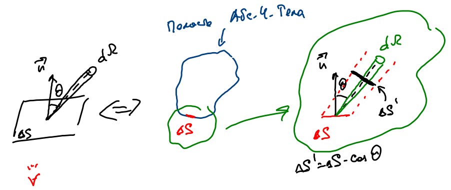
$$\boxed{f(\omega,T) = \frac{\hbar\omega^3}{4\pi^2c^2}\,\frac{1}{e^{\frac{\hbar\omega}{kT}}-1}}$$ – ф. Планка

$$R^{\text{а.ч.т.}} = \int_0^\infty f(\omega,T)\,d\omega = \sigma\cdot T^4$$

$$\sigma = \frac{\pi^2 k^4}{60c^2\hbar^3}.$$

к прошлой лк:



Площадка ΔS посылает в направл-и, образующим с нормалью угол θ, в пределах телесного угла $d\Omega$, поток энергии:

$$dP = dI\cdot\Delta S' = \frac{I}{4\pi}d\Omega\cdot\Delta S\cdot\cos\theta$$

---

§ Фотоны

Планк: э/м излуч-е (свет) испуск-ся порциями – „квантами", величина: $\varepsilon = \hbar\cdot\omega = h\cdot\nu$

где: $h = 6{,}63\cdot10^{-34}$ Дж·с – „постоянная Планка"

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$ – редуциров-я пост. Пл.

1905 г. Эйнштейн обобщил гипот. Планка на все явл-я: испуск-я, поглощ-я и распр-я света

[

⇒ ввёл „фотон" – частица э/м поля

⇒ Свет – поток фотонов ⇒ т.е зернистую структуру # Домедь

1° Энерг., перенос. фотоном: $\varepsilon_\phi = \hbar\omega = h\cdot\nu$

2° Свет, распр-ся в вак-ме со ск. света ⇒ фотон движ-ся со ск. света

3° Масса движ. фотона: $\varepsilon_\phi = \hbar\omega = m_\phi\cdot c^2$ ⇒ $m_\phi = \frac{\hbar\omega}{c^2}$

4° Из реляв. мех-ки: $E = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$, для фотона $v = c$ ⇒ $E = \frac{m_0c^2}{0} \to \infty$, но т.к. ε_ϕ – конечна ⇒ $m_0 = 0$ ⇒ масса покоя фотона $=0$

5° Из связи эн. и имп-са $E^2 - p^2c^2 = m_0^2c^4$ $\underset{m_0=0}{\Rightarrow}$ $\varepsilon_\phi = p_\phi c$ ⇒ имп-с фотона: $p_\phi = \frac{\varepsilon_\phi}{c} = \frac{\hbar\omega}{c}$

$\frac{\omega}{c} = \frac{2\pi\cdot\nu}{c} = \frac{2\pi}{T\cdot c} = \frac{2\pi}{\lambda} = k$ – волн. число

⇒ $p_\phi = \hbar\cdot k$ или $\vec{p}_\phi = \hbar\cdot\vec{k}$

где: $\vec{k}$ – волн. вектор светового излуч-я (вектор, направл-й в сторону излучения)

Итак: $\varepsilon_\phi = \hbar\omega$, $\vec{p}_\phi = \hbar\cdot\vec{k}$ ⇒ $\omega, \vec{k}$ – волновые св-ва излуч-я; $\varepsilon_\phi, \vec{p}$ – корпускул-е св-ва излуч-я

⇒ Фотон обладает противоречивым набором св-в: волна – частица

⇒ корпускулярно - волновой дуализм фотонов (излуч-е)

$\varepsilon_\phi = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$, $p_\phi = \frac{h}{\lambda}$ ⇒

1. чем ↑ λ, тем ε_ϕ и p_ϕ меньше ⇒ труднее обнаружить корпуск. св-ва

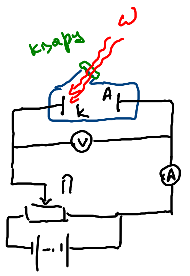
2. чем ↓ λ, тем ε_ϕ и p_ϕ больше ⇒ труднее обнар.-ть волн. св-ва

Эксп-ты, подтв-е корпуск. св-ва изл-я:

- Фотоэффект v
- Эф. Комптона v
- Опыт Боте с/з
- Тормозное рентген. изл-е с/з

§ Фотоэффект

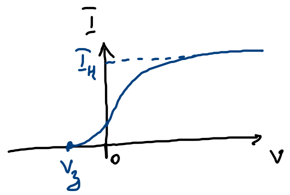
– испуск-е электр-в вещ-м под действ-м света.



Свет, проникает ч/з кварц. окошко [пропускает ультрафиолет],
освещает Катод (K)

из K вырыв-ся эл-ны, устремл-ся к Аноду (A)
⇒ в цепи ток (A)

Вольт-амп. хар-ка фотоэлемента: – завис-ть $I(V)$, снятая при постоянном свет. потоке Φ



Видны особ-ти:
- ток насыщения: $I_н$
- при $V=0$ есть ток: $I \neq 0$
- $\exists$ задерживающ-е напряж-е: $V_з$

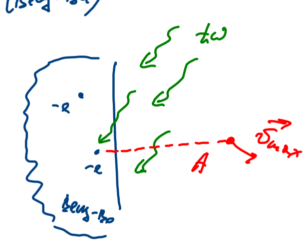
Законы Столетова (зак. Фотоэф-та):

1. $I_н \sim \Phi$
2. $\exists$ „красная граница фотоэф-та" $\lambda_к$ для металла, при которой фотоэф. ещё возможен.
3. $T_{max} \sim \omega$

Эйнштейн:

Электрон вещ-ва полностью поглощает эн-ю кванта $\hbar\omega$.
и эта эн-я идёт на работу A по покиданию электр-м тела (вещ-ва) и на придание ему кин. эн-и:

$$\hbar\omega = A + T_{max}$$ – ур. Эйнштейна



Следствие:

1° Кол-во вырван-х эл-в ~ кол-ву падающих на пов-ть вещ-ва квантов света

свет. поток Φ – кол-во квант. св., падающих на ед. пов-ти за ед. времени
⇒ $I_н \sim \Phi$

2° Фотоэф. возможен: $\hbar\omega \geq A$ $\qquad \omega = \frac{2\pi c}{\lambda}$

⇒ $\hbar\omega_к = A$ ⇒ $\hbar \cdot \frac{2\pi c}{\lambda_к} = A$ ⇒ $\boxed{\lambda_к = \frac{2\pi\hbar c}{A}}$

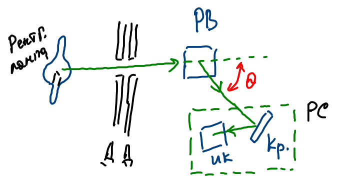
при $\lambda \leq \lambda_к$ – фотоэф. возможен

3° $T_{max} \sim \omega$ видно из ур-я Эйнш.

§ Эф. Комптона

А. Комптон (1923 г): рассеяние монохром. рентген. изл-я вещ-ми из лёгких атомов (парафин, бор)

Схема:

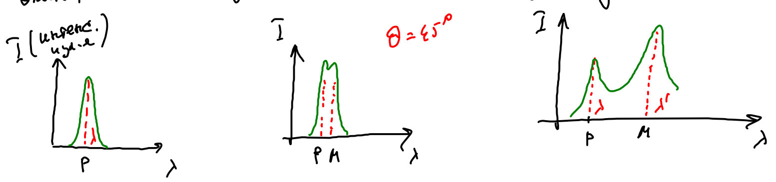


ДД – набор диафрагм, для выдел-я пучка изл-я

РВ – рассеивающ. вещ-во

РС – рентгенов-й спектрограф (Кр – кристалл; ИК – ионизацион. камера)

Опыт: в составе рассеян. изл-я вместе с первонач-й длин. волны $\exists$ более длин. волны



Опыт показал, что

$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ не зависит от длины волны λ падающего изл-я ...

а опред-я только углом рассеяния θ:

$$\Delta\lambda \equiv \lambda' - \lambda = 2 \cdot \lambda_c \cdot \sin^2\frac{\theta}{2} = \lambda_c \cdot (1 - \cos\theta)$$

где: λ' – длина волны рассеян-го излуч-я

$\lambda_c = 2{,}426$ пм – Комптоновская длина волны

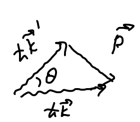
$\Rightarrow$

$\Rightarrow$ эф. К. – результат упруг. столкн. фотонов со свободн. эл-ми вещ-ва

Пусть на покоящ-ся электрон падает фотон с $\hbar\omega$ и импульсом $\hbar\vec{k}$

Зак. сохр. эн-и и имп-са:

$$\Rightarrow \begin{cases} ① \quad \hbar\omega + \underbrace{m_0 c^2}_{\text{эн. покоя}} = \hbar\omega' + \underbrace{c\cdot\sqrt{p^2 + m_0^2 c^2}}_{\text{эн. эл-на после столкн-я}} \\ ② \quad \hbar\vec{k} = \vec{p} + \hbar\vec{k}' \end{cases}$$



из ① $\Rightarrow$ $\sqrt{p^2 + m_0^2 c^2} = \hbar\left(\frac{\omega}{c} - \frac{\omega'}{c}\right) + m_0 c = \left[\frac{\omega}{c} = k\right] = \hbar(k - k') + m_0 c$

Возведя в кв-т

$\Rightarrow$ $p^2 = \hbar^2(k^2 + k'^2 - 2kk') + 2\hbar m_0 c\,(k - k')$

из ② $\Rightarrow$ $p^2 = \hbar^2(\vec{k} - \vec{k}')^2 = \hbar^2(k^2 + k'^2 - 2\cdot k\cdot k'\cdot\cos\theta)$

Сравнивая:

$m_0 c\,(k - k') = \hbar k' k\,(1 - \cos\theta)$

$\Rightarrow$ $\underbrace{\frac{2\pi}{k'}}_{\lambda'} - \underbrace{\frac{2\pi}{k}}_{\lambda} = \frac{2\pi\hbar}{m_0 c}(1 - \cos\theta)$

$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_c \cdot (1 - \cos\theta) = 2\cdot\lambda_c\cdot\sin^2\frac{\theta}{2}$

$\Rightarrow$ $\lambda_c \equiv \frac{2\pi\hbar}{m_0 c} = \left[\text{для электрона}\right] = 0{,}0242$ Å $= 2{,}422$ пм ?