

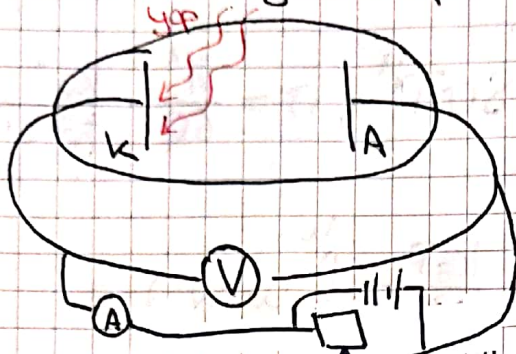
## Семинар 2 (14.09.20)

Физ. спектр. плотности энергии:

Энергия, кот. переносит волна с частотой  $\omega$

### Фотоэффект. Эффект Комптона

- 1887 Герц: чрч. волна помогает  $\rightarrow$  убав. от задержки
- 1888 Столетов - 3-ий фотоэффект.

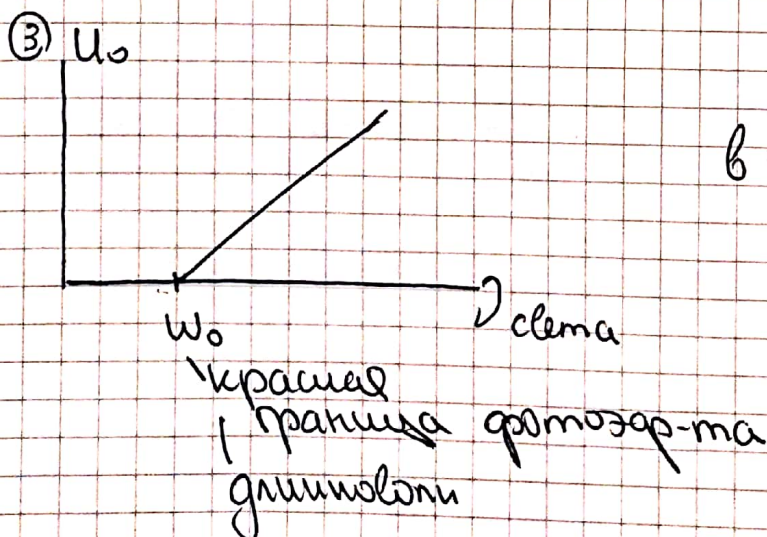
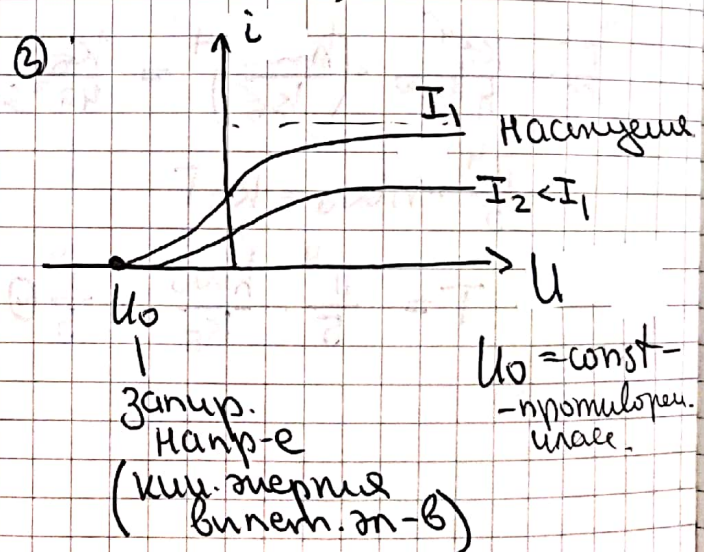
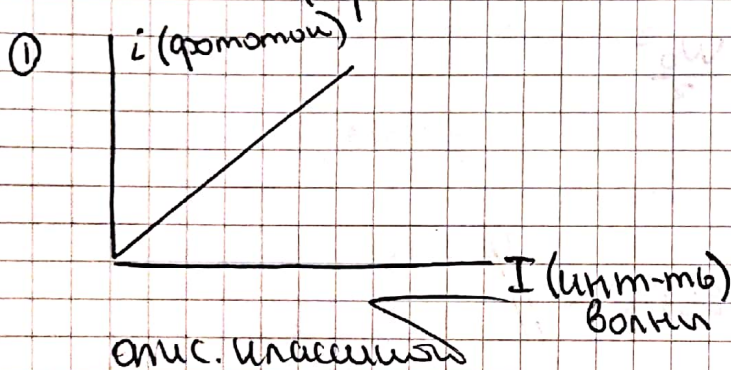


K - излучает е  
A - принимает е

Насильно надо отщипывать вакуум:

длина свобод. пробега э-на  $\sim$  длины трубки

( $p \sim 1 \text{ Па} \sim 10^{-5}$  атм  $\leftarrow$  мех. насос)



в класс. теории волна с част.  $\omega$  равна е:

$$m\ddot{x} = eE \sin \omega t$$

$$U_0 = \frac{T}{e} = \frac{mV^2}{2e} = \frac{eE^2}{2m} \cos^2 \omega t \cdot \frac{1}{\omega^2}$$

$$mV = m\dot{x} = \frac{eE}{\omega} \cos \omega t$$

?! ..



• 1900 Планк  $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж·с

энергия излучения  $h\nu$  / изл. порция по  $h\nu$ .

• 1905 Эйнштейн

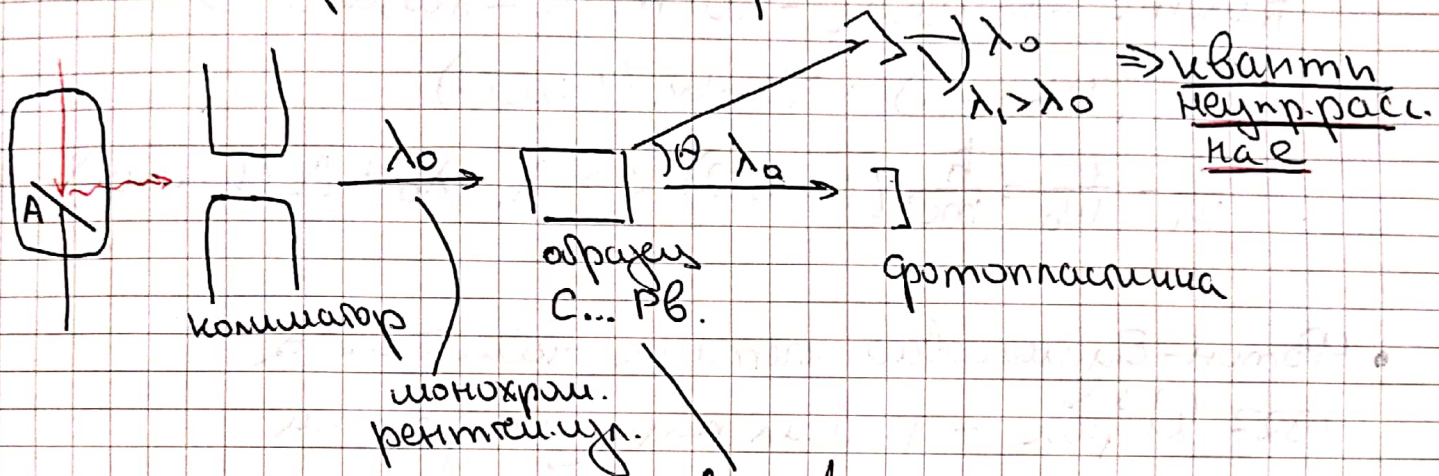
$$h\nu = A_{\text{вых}} + T_e$$

свет-поток квантов с  $\epsilon = h\nu$   
 $p = \hbar k$

• 1922 Комpton - свет может вести себя как частица

вид. свет  $\sim 2 \text{ эВ}$ .  $\Delta E$  отдаст электрону атому } фотон.  
(не на  $\Delta E$  отп.)

$\sim 0,5 \text{ МэВ}$  - энергия фотонов  $e^-$   $\leftarrow$  рел.  $e^-$



вне завис. от  $\lambda_0$  на  $\Rightarrow$  рас. на  $e^-$  (иначе  $e^-$  с  $\lambda_0$  с  $\lambda_0$ )

из опыта:  $\lambda_1 = \lambda_0 + \Delta \lambda (1 - \cos \theta)$

$$\frac{2\pi\hbar}{mc} = 2 \cdot 10^{-10} \text{ см}$$

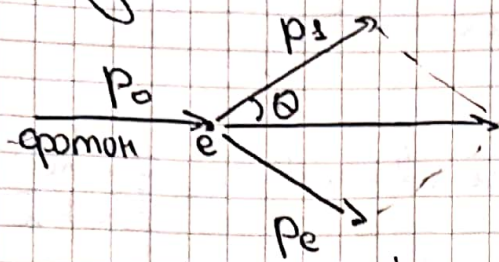
$> r_{\text{ра ядра}}$   
 $< r_{\text{ра атома}}$

На протонах тоже есть рас., но  $m_p \ll m_e \Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  сложнее обнаружить



пер.  $\rightarrow E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4, \bar{p} = \frac{E}{c^2} \bar{v}$

Вывод эрмита Комптона:



$$\bar{p}_0 = \bar{p}_1 + \bar{p}_e$$

$$\underbrace{h\omega_0}_{\text{фотон}} + \underbrace{mc^2}_{\text{позит. эл-н}} = \underbrace{h\omega_1}_{\text{фотон}} + \underbrace{\sqrt{p_e^2 c^2 + m^2 c^4}}_{m_e}$$

$$p_e^2 = \left(\frac{h\omega_0}{c}\right)^2 + \left(\frac{h\omega_1}{c}\right)^2 - 2 \frac{h\omega_0 h\omega_1}{c^2} \cos \theta$$

$$(h\omega_0 + mc^2 - h\omega_1)^2 = (h\omega_0)^2 + (h\omega_1)^2 - 2h\omega_0 h\omega_1 \cos \theta + m^2 c^4$$

$$h\omega_0 mc^2 - h^2 \omega_0 \omega_1 - h\omega_1 mc^2 = -h^2 \omega_0 \omega_1 \cos \theta$$

$$hmc^2(\omega_0 - \omega_1) = h^2 \omega_0 \omega_1 (1 - \cos \theta)$$

$$\frac{1}{\omega_1} - \frac{1}{\omega_0} = \frac{h}{mc^2} (1 - \cos \theta) \Leftrightarrow \lambda_1 = \lambda_0 + \Delta \lambda (1 - \cos \theta)$$

- Фотон - безмассовая частица - ибашь следа

1927 Дирак - решил парадокс фотона

ушли от рел. масс  $\Rightarrow$  неадекват массы

Масса берется у вакуума



2 фотона движ. в проув. напр.

Масса суперчастицы из 2 фотонов?

1)  $(2E_0)^2 = M^2 c^4, M = 2E_0 / c^2$

2)  $(2E_0)^2 = \left(\frac{2E_0}{c}\right)^2 c^2 + 0 \Rightarrow M = 0$

$\Rightarrow 0 \leq M \leq \frac{2E_0}{c^2}$



• 1940 - Юава - фотон-калор. Союз в ивайт. И пона  
(фотон-перелосилим эм фамм-я  
и Кулона - уза фамм. фотонив)

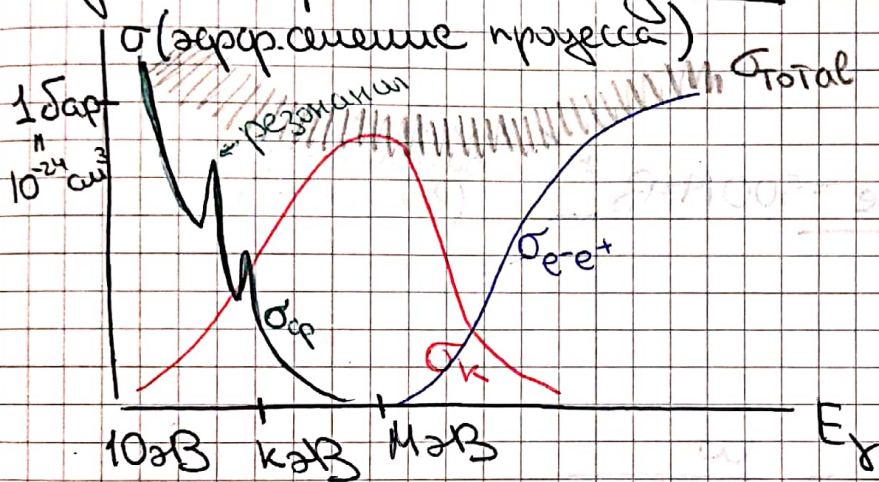
• 1980 - Великов

$m_{\varphi} = 0 \Rightarrow$  радиус эм фамм.  $\propto$   
(и Кулона вив. на  $V$  раса.)  
Большин

Но есть экстр.  $\downarrow$

$\ell \sim 10^{+22}$  см  $\rightarrow$  з. Кулона вив.  $\Rightarrow m_{\varphi} < 10^{-27}$  эВ  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  безмас. чист.

• Взаим-е фотона с веществом



$\frac{\Delta N}{N}$  - вероятность  
распада

$\sigma_{\varphi}$   
поток  
фотонов  
( $\frac{\text{ч.д.д.}}{\text{см}^2}$ )

$\sigma \downarrow \Rightarrow$  труднее попасть  
в ядро

$\sigma = 1 \Rightarrow$  всегда эррт

$$\sigma_{\text{Total}} = \sigma_{\text{фотоэр}} + \sigma_{\text{Комптон}} + \sigma_{\text{е+е+}} + \dots$$

генерация  
э. излучения

•  $E_{\gamma} < 1$  эВ - ничего не сделает (max напряг)

$$\sigma_{\varphi} \sim \frac{Z^5}{E_{\gamma}^3}, \quad E_{\gamma} \sim \frac{\Delta}{a}$$

• На вид длинах волн Компт. эррт трудноты, +  
+ верт. процесса мала



1.7  $\omega = 2 \cdot 10^{16} \text{ c}^{-1}$ ,  $\Omega = 2 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$

$T_e = ?$   $W_{\text{вых}} = 13,5 \text{ эВ}$

1)  $\hbar\omega = W_{\text{вых}} + T_e$

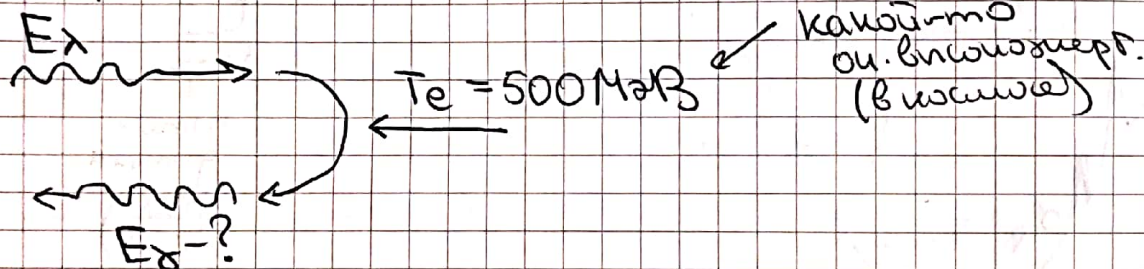
$T_e = \hbar\omega - W_{\text{вых}} = \frac{1,05 \cdot 10^{-34} \cdot 2 \cdot 10^{16}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} - 13,2 \text{ эВ}$   $W_{\text{вых}} < 0$   
орбиталей?

2) Промодул. эл волна див. 3 волнами

$\omega$ ,  $\omega + \Omega$ ,  $\omega - \Omega$   
не возбуждает орбиталей      тоже не возбуждает

3)  $T_e = \hbar(\omega + \Omega) - W_{\text{вых}} = 1 \text{ эВ}$

1.35  $\lambda = 0,7 \text{ мкм} \rightarrow \omega_0$



1)  $\omega' = \frac{\omega}{1 + \frac{\hbar\omega}{mc^2}(1 - \cos\theta)} = \frac{\omega}{1 + \frac{2\hbar\omega}{mc^2}}$

в соотв. со эл-на. Надо перейти в ЛСО

2) Доплер.

$\omega = \omega_0 \sqrt{\frac{c+V}{c-V}} = \omega_0 \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} = \omega_0 \sqrt{\frac{2}{\frac{(mc^2)^2}{2T_e^2}}} \approx$   
 $\beta = V/c$   
 $= \omega_0 \cdot \frac{2T_e}{mc^2}$

$T_e = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}}$   
 $\beta = \sqrt{1 - \frac{(mc^2)^2}{T_e^2}} \approx 1 - \frac{mc^4}{2T_e^2}$



$$3) E_{\gamma} = \hbar \omega''$$

в лс

$$\omega'' = \omega' \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} = \omega' \cdot \frac{2T_e}{mc^2}$$

$$E_{\gamma} = \hbar \omega'' = \frac{\hbar \omega \cdot 2T_e}{mc^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2\hbar \omega}{mc^2}} \approx \hbar \omega_0 \cdot \frac{\frac{4T_e^2}{m^2 c^4}}{1 + \frac{4T_e}{m^2 c^4} \hbar \omega_0} \approx$$

// если  $\omega_0 \gg 1$ , то от нее  $E_{\gamma}$  не падает //

$$\approx \hbar \omega_0 \cdot \frac{4T_e^2}{m^2 c^4} \approx 10 \text{ МэВ}$$