Notas de aula
Física Geral 4 – F 428

Odilon D. D. Couto Jr.

Instituto de Física "Gleb Wataghin"
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Departamento de Física da Matéria Condensada

http://sites.ifi.unicamp.br/odilon

AULA 3 - FÓTONS E ONDAS DE MATÉRIA I

Hoje basicamente veremos 3 experimentos que, além de aplicar conceitos já vistos a aula de relatividade, formaram a base para o que chamamos de Física Quântica.

Quântica ⇒ QUANTIZADA (dar exemplo do dinheiro)

⇒ Pacotes de energia são necessários para acessar estados quantizados.

Os experimentos são:

EFEITO FOTOELÉTRICO: existência de pacotes de energia luminosa bem definida.

≡ fótons

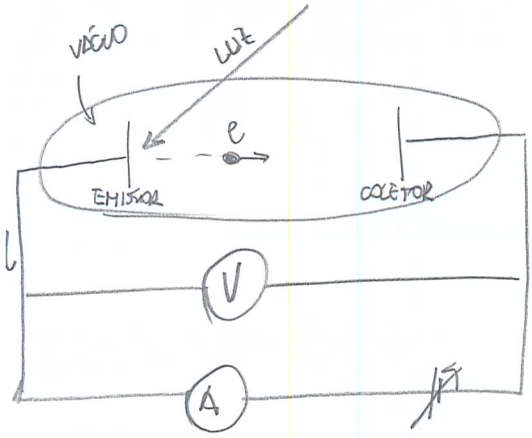
⇒ 1 fóton → 1 transição $E = hf = h\frac{c}{\lambda}$

EFEITO COMPTON: momento do fóton é $p = \frac{E}{c}$

EXP. DE YOUNG COM ELÉTRONS: existência de ondas de matéria

$\lambda = \frac{h}{p}$ ⇒ comprimento de onda de de Broglie.

FEITO FOTOELÉTRICO



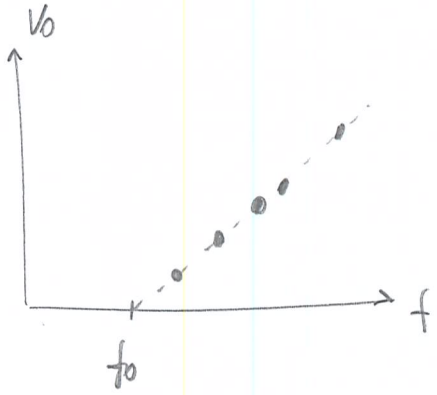
(1) Aumentando V até um valor chamado $V_{corte} = V_0$ os elétrons podiam ser totalmente freados.

$$i(V = V_0) = 0$$

(4) Observou-se que abaixo de uma certa freq. f_0 não era mais possível ejetar elétrons com a luz.

(3) V_0 não dependia da intensidade da luz incidente.

Em outras palavras:



Estas observações não estavam de acordo com o que era esperado da física clássica.

(2) $eV_0 = K_{MAX}$ seria a energia cinética máxima que um elétron consegue ser ejetado.

a - Aumentando a intensidade deveria ser possível sempre dar mais energia cinética

b - Independente da freq. da luz incidente, com intensidade suficiente deveria ser possível ejetar elétrons.

Além disso: f_0 dependia do material.

Einstein então postulou:

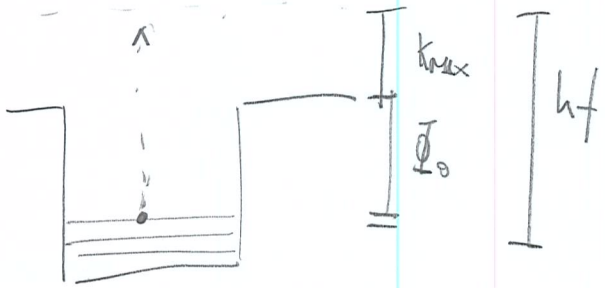
$$E = hf = h\frac{c}{\lambda}$$

⇒ 1 fóton só pode ejetar 1 elétron no processo de absorção.

Sendo assim, a energia do fóton incidente seria "gasta" para retirar o elétron do material e dar-lhe energia cinética.

$$hf = K_{MAX} + \Phi_0$$

Φ_0 é chamada função trabalho do metal.



⇒ $hf = eV_0 + \Phi_0$

$$\boxed{V_0 = \frac{h}{e}f + \frac{\Phi_0}{e}} \quad (1)$$

⇒ relação linear

⇒ tirando coef angular a partir de $e = 1.6 \times 10^{-19}\,C$

⇒ $h = 6.63 \times 10^{-34}\,Js = 4.1 \times 10^{-15}\,eVs$ ⇒ constante de Planck!!!

- Além disso, no limite $V_0 \to 0$ ⇒ $hf_0 = \Phi_0$ ⇒ $f_0 = \frac{\Phi_0}{h}$ → depende do material.

- A expressão (1) NÃO DEPENDE DO NÚMERO DE FÓTONS!!

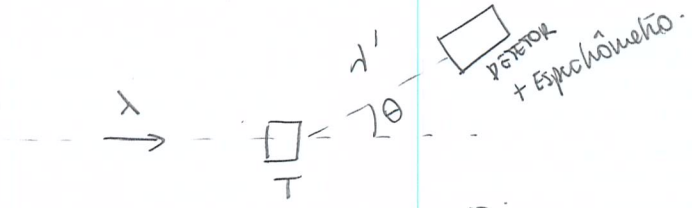
- Se $hf < \Phi_0$ a energia não é suficiente para ejetar o elétron.

- Note que a hipótese de 1 fóton é essencial caso contrário poderíamos ter mais fótons de forma que $Nhf > \Phi_0$.

- Prêmio Nobel 1921.

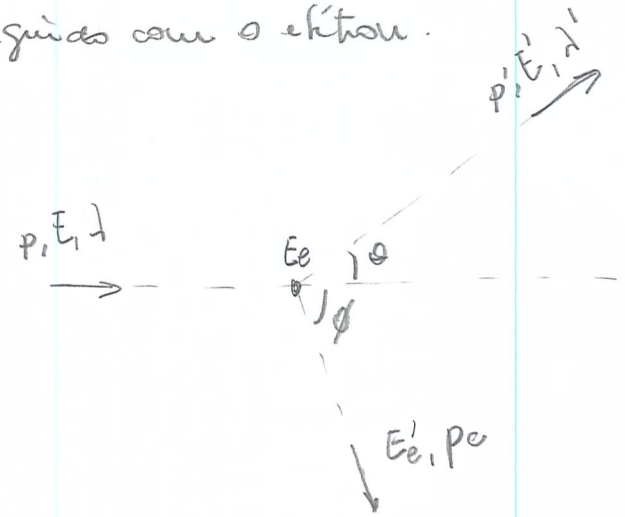
EFEITO COMPTON

Raios X $\lambda = 71,1\ pm \Rightarrow E \cong 17,5\ KeV$ incidindo em um alvo de carbono T.



MOSTRAR SLIDE COM RESULTADOS! $\theta > 90° \Rightarrow$ elétrons emitidos em todas as direções. ⊗ assumindo

Para aplicar o experimento devemos usar relatividade e a hipótese de Einstein para o fóton interagindo com o elétron.



Queremos encontrar

$$\lambda' - \lambda = \left(\frac{1}{E'} - \frac{1}{E}\right) hc$$

Vamos aplicar conservação de energia e momento.

$$E + E_e = E' + E_e'$$

$E_e = m_0 c^2 \Rightarrow$ elétron em repouso

$$E_e'^2 = m_0^2 c^4 + (p_e c)^2$$

$$\Rightarrow E + m_0 c^2 = E' + \sqrt{m_0^2 c^4 (p_e c)^2}$$

$$\Rightarrow [E - E' + m_0 c^2]^2 = m_0^2 c^4 + (p_e c)^2$$

Além disso:

$$p = \frac{E}{c}$$

$$p' = \frac{E'}{c}$$

⊗ CLASSICAMENTE, só teríamos λ, não λ'.

=

Para o momento temos:

$$\vec{p} = \vec{p}' + \vec{p}_e \Rightarrow \vec{p}_e = \vec{p} - \vec{p}'$$

$$\Rightarrow p_e^2 = p^2 + p'^2 - 2pp'\cos\theta = \frac{E^2}{c^2} + \frac{E'^2}{c^2} - 2\frac{EE'}{c^2}\cos\theta$$

$$p_e^2 c^2 = (p_e c)^2 = E^2 + E'^2 - 2EE'\cos\theta$$

$$\Rightarrow [(E-E') + m_0c^2]^2 = m_0^2c^4 + E^2 + E'^2 - 2EE'\cos\theta$$

$$(E-E')^2 + \cancel{m_0^2c^4} + 2(E-E')m_0c^2 = \cancel{m_0^2c^4} + E^2 + E'^2 - 2EE'\cos\theta$$

$$\cancel{E^2} + \cancel{E'^2} - \cancel{2EE'} + 2(E-E')m_0c^2 = \cancel{E^2} + \cancel{E'^2} - \cancel{2EE'}\cos\theta$$

$$\frac{E-E'}{EE'} = \frac{1}{m_0c^2}(1-\cos\theta) \Rightarrow \frac{1}{E'} - \frac{1}{E} = \frac{1}{m_0c^2}(1-\cos\theta)$$

$$\boxed{\Rightarrow \Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1-\cos\theta)}$$

$\Rightarrow$ ajusta os dados experimentais

com $\lambda_c = \frac{h}{m_0c} = 2{,}43 \times 10^{-12}$ m

$\theta = 0 \Rightarrow \Delta\lambda = 0$

A existência do pico em λ' implica que o fóton tem momento e que pode ser modificado.

$\Rightarrow$ Além disso $m_{fóton} = 0$.

$\Rightarrow$ se $M \gg m_0 \Rightarrow \Delta\lambda \to 0 \Rightarrow$ desvio Compton é muito menor p/ corpos massivos.

$\Rightarrow$ Difícil detecção.