

## 2- Efeito fotoelétrico

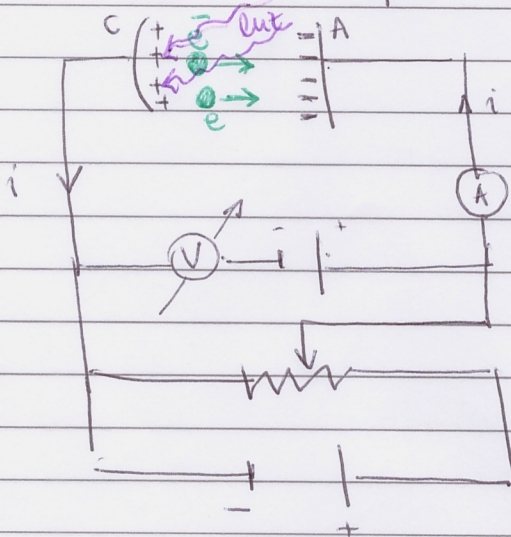
1/

Em 1839 Becquerel observou e em 1887 Hertz confirmou  
... mas a explicação: 1905 Einstein. (1921 Nobel)

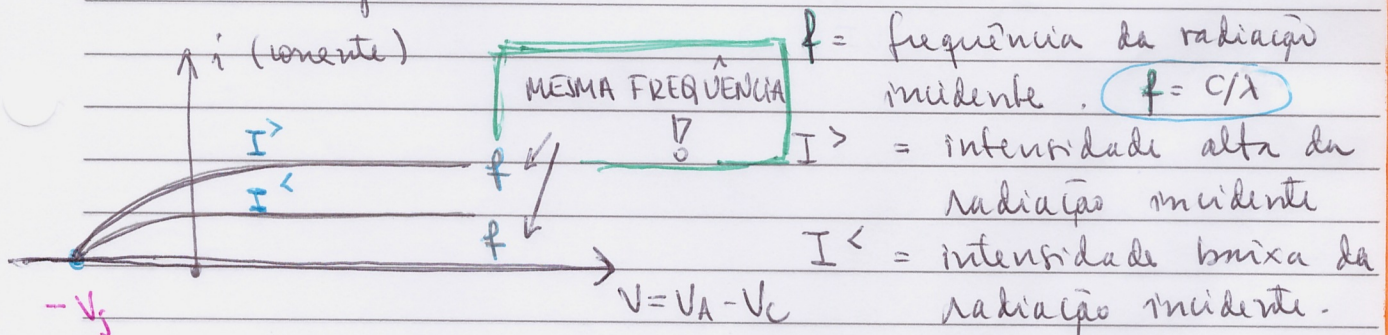
• Fenômeno: emissão de elétrons de ~~uma~~ superfícies metálicas sob incidência de luz = "efeito fotoelétrico".

$V_C > V_A$  (polaridade invertida: elétrons com

aceleração negativa entre os eletrodos)



observa-se o seguinte:



Os elétrons emitidos ~~possuem~~ <sup>constituem</sup> uma distribuição de velocidades / energia cinética (muitos perdem parte da  $E_c$  ao colidir com outros elétrons ou outros efeitos)

Ao tornar mais negativo o potencial entre os dois eletrodos, seleciona-se os elétrons com maiores  $E_c$ .

No limiar, ou seja, para valores  $-V_s$  ( $V_s > 0$ ), seleciona-se os elétrons que possuem energia cinética MÁXIMA,  $E_c^{\max}$ . Neste limiar, estes elétrons não chegam a atingir o eletrodo (-) e portanto, a corrente cessa ( $i=0$ ).

Para estes elétrons, conservação da energia leva a:

$$E_c^{\max} = |q_{el} \cdot V_s| = \text{teó } W/E_c$$

$q_{el}$  = carga de 1 elétron

$V_s$  = "potencial de corte"

$V_s \leftrightarrow E_c^{\max}$  Ou seja, determinando-se  $V_s$  (= valor do potencial em que cessa a corrente), obtém-se  $E_c^{\max}$ .

Outro nome para  $V_s$  = "potencial de frenamento".

Mas ... por que  $V_s$  independe da intensidade da radiação incidente??

Apesar, se a intensidade  $I \sim |E|^2$ , aumentando-se  $I$  esperava-se elétrons com maiores valores de  $E_c^{\max}$ ...

Outro resultado experimental?

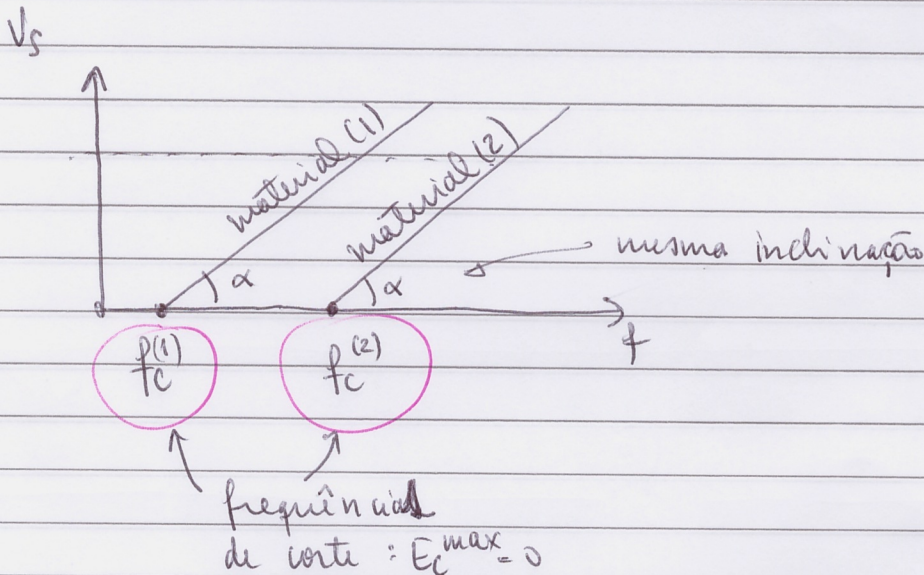
Se for variada a frequência  $f$  da luz incidente

$\Rightarrow V_s$  muda!

- $V_s$  aumenta com o aumento de  $f$

↑ potencial de corte →  $E_c^{\max} / |q_e| = V_s$

- $V_s$  é uma característica do material



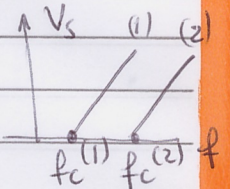
Este "corte" também não é esperado classicamente afinal, se ocorrer aumento na intensidade da luz incidente, deveríamos poder arrancar elétrons de qualquer forma...

Por que há uma frequência ("de corte") abaixo da qual não poderíamos mais arrancar elétrons?

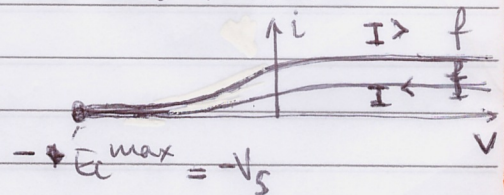
Em resumo:

$E_c^{\max}$  dos elétrons "arrancados" do material:

- ① depende linearmente da frequência da luz incidente.
- ② depende do tipo de material.
- ③ independe da intensidade da luz incidente.



E a corrente  $i$  aumenta com a intensidade da radiação incidente.



E ainda: há uma frequência de corte.

Em 1905

t. da relatividade restrita  
 movimento browniano (ph D)  
 efeito fotoelétrico (Nobel 1921)

5/

Einstein explicou o efeito fotoelétrico.

Generalizou a ideia da quantização de Planck (= estados das moléculas associados aos valores discretos de energia) para a radiação eletromagnética supondo que:

(a) a RADIAÇÃO é constituída por FÓTONS, partículas indivisíveis com massa de repouso  $m_0 = 0$ .

(b) a energia da radiação concentra-se nesses fótons.

$$E_f = hf$$

= "quantum de energia" (Planck)

(c) o efeito fotoelétrico ocorre quando um fóton transfere a um elétron toda sua energia.

$$E_c^{\max} = hf - \phi$$

$\geq 0$ , para HAVER efeito

FOTOELÉTRICO

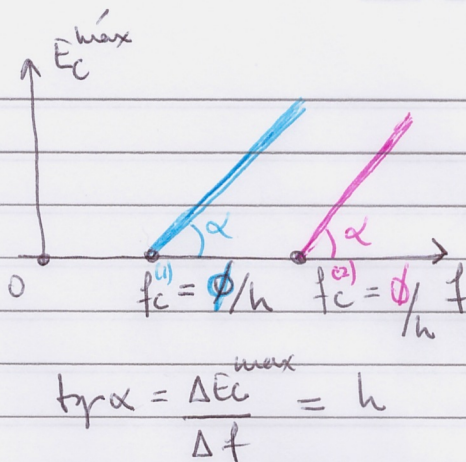
"equações do efeito fotoelétrico".

- $f$  = frequência da radiação incidente
- $\phi$  = "função trabalho" do material

$$E_{c\max} = hf - \phi$$

$\phi$  depende do material!

Para haver efeito fotoelétrico,  
 $hf \geq \phi$



(d) A intensidade da luz incidente é expressa por:

$$I = \sum_f \frac{N_f E_f}{\text{Área} \cdot \text{seg}}$$

NOTE

Momento linear de um fóton:

$$(1) \quad E = \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2} = pc \quad (\text{relatividade})$$

$$m_0 = 0$$

$$E = pc$$

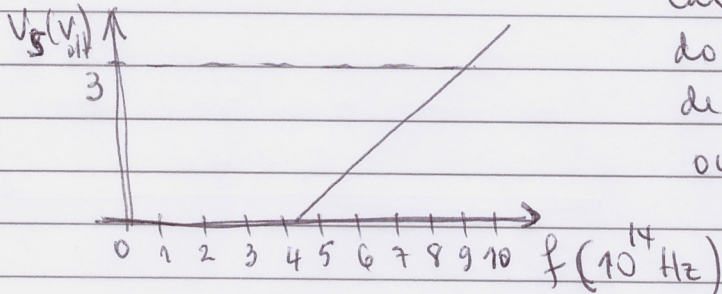
$$(2) \quad E = hf \quad (= \text{quantização da radiação})$$

$$(1) \text{ e } (2) : \quad hf = pc \quad \rightarrow \quad p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

$$f = c/\lambda$$

Exercício

Usando o gráfico abaixo ~~de~~ de  $E_{c\max} = e \cdot V_s(f)$



calcule a função trabalho do material e o comprimento de onda máximo para que ocorra efeito fotoelétrico.

Dado:  $h = 4,1 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{Å}$

Solução:

$$E_{c\max} = hf - \phi \geq 0 \quad \text{para haver efeito fotoelétrico}$$

No limiar de frequências  $\Rightarrow E_{c\max} = 0 \Rightarrow hf_{\text{lim}} = \phi$ .

Usando o gráfico,  $f_{\text{lim}} = 4,4 \times 10^{14} \text{ Hz}$ . (para esta frequência,  $E_{c\max} = 0$  ou seja, os elétrons que eventualmente são arrancados do metal (inidência de luz de frequência limiar) não possuem  $E_c$  para alcançar o eletrodo oposto e estabelecer corrente.

$$\Rightarrow \phi = hf_{\text{lim}} = h \cdot (4,4 \times 10^{14} \text{ Hz}) = \underline{\underline{1,8 \text{ eV}}}$$

$$\lambda_{\text{lim}} = \lambda_{\text{max}} = \frac{c}{f_{\text{lim}}} = 6,8 \times 10^{-7} \text{ m} = 680 \text{ nm}.$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

\* Para haver efeito fotoelétrico:  $hf_{\text{lim}} \geq \phi$

$$\lambda \leq \frac{hc}{\phi} = \frac{6,6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot (3 \times 10^8 \text{ m/s})}{30 \times 10^{-20} \text{ J}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{lim}}}$$

$$\lambda \leq 700 \text{ nm}$$