

40.2 - O efeito fotoelétrico

No final do séc. XIX, as experiências mostraram que quando a luz incidia sobre certas superfícies metálicas havia emissão de e^- pela superfície. Este fenômeno é conhecido como efeito fotoelétrico e os elétrons são os fotoelétrons → descoberto por Hertz que também evidenciou as o.e.m. previstas por Maxwell.

Fig. 40.5

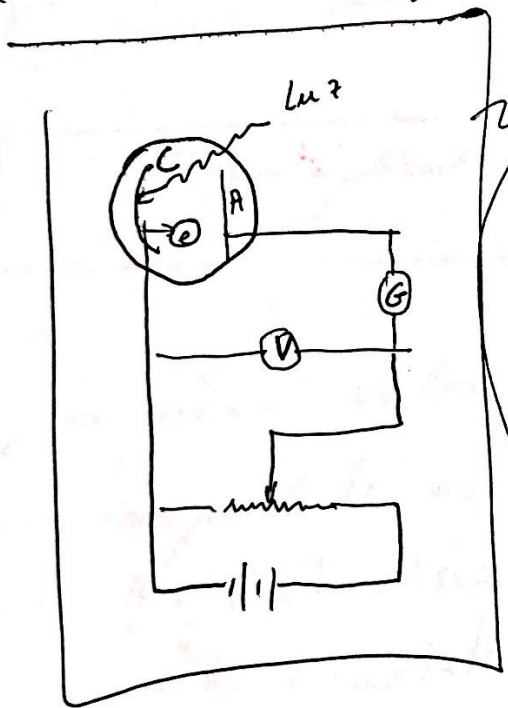
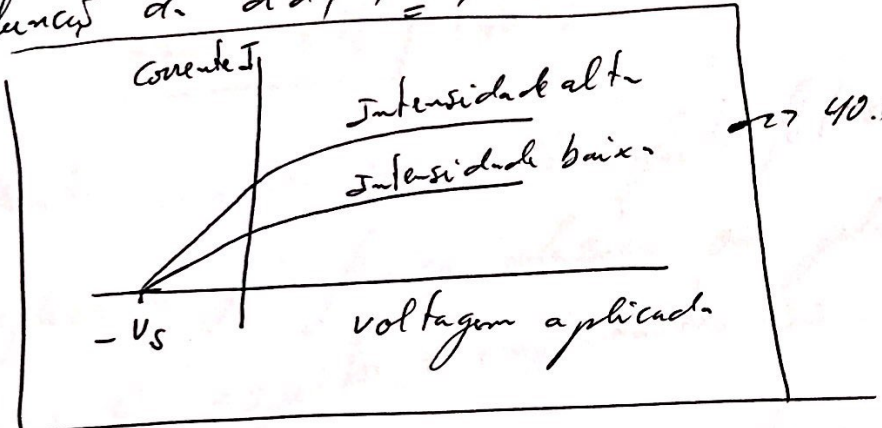


Diagrama do circuito para observação do efeito fotoelétrico. Quando a luz atinge a placa C (emissor), os fotoelétrons são ejetados da placa. O fluxo de e^- para a placa A (coletor) provoca a corrente no circuito.

Um tubo de vidro ou de quartzo evacuado contém 1 placa C metálica que está ligada ao terminal negativo de 1 bateria. Uma outra placa metálica A é mantida em 1 potencial positivo pela bateria. Quando o tubo está no escuro, a leitura do amperímetro é nula, o que indica ausência de corrente no circuito. Porém quando luz monocromática, de comp. de onda apropriada, ilumina a placa C, há passagem

de corrente no amperímetro, o que mostra haver o fluxo de cargas através do espaço entre C e A . A corrente associada a este processo é proveniente dos e^- emitidos pela placa negativa e coletada na placa positiva.

A fig. 40.6 mostra o gráfico da corrente fotoelétrica em função da ddp, V , entre A e C , com 2 intensidades de luz.



Observe que para grandes valores de V , a corrente atinge o valor máximo, correspondente ao caso em que todos os fotoelétrons são coletados em A . Além disso, a corrente cresce quando a intensidade da luz incidente cresce, conforme se poderia esperar. Finalmente, quando V for negativo; isto é, quando a polaridade da bateria no circuito for invertida de modo a fazer C positiva e A negativa, os fotoelétrons serão repelidos pela placa negativa A . Somente e^- que tiverem energia cinética maior do que eV atingirão A , onde e é a carga do e^- . Além disso, se V for menor ou igual a V_s

que é o potencial frenador, nenhum e^- atingirá A e (89)
a corrente será nula. O potencial frenador independe
da intensidade da radiação.

A energia cinética máxima dos fotoelétrons está relacionada
do potencial frenador por:

$$K_{\text{máx}} = eV_s \quad (40.7)$$

Muitas características do efeito fotoelétrico não podem ser
explicadas pela física clássica ou pela teoria ondulatória da
luz. Os aspectos + importantes são:

1) Nenhum e^- é emitido se a frequência da luz incidente
for menor do que certo limite de frequência ν_c , que é
característico do material iluminado. Por ex. p/Na, $\nu_c = 5,5 \times 10^{14} \text{ Hz}$

Esta observação é incoerente c/ a teoria ondulatória, que
prevê que o efeito fotoelétrico deve ocorrer em ν frequência,
desde que a intensidade da luz seja suficiente.

2) Se a frequência da luz for superior ao limite de frequên-
cia, o efeito fotoelétrico ocorrerá e o nº de fotoelétrons
emitidos será proporcional à intensidade da luz. Porém a energia

cinética máxima dos fotoelétrons independe da intensidade da luz, o que não pode ser explicado pelos conceitos da física clássica. (85)

3) A energia cinética máxima dos fotoelétrons aumenta c/ o aumento da frequência da luz. (fig 40.8)

4) Os e^- são emitidos pela superfície quase instantaneamente (menos que 10^{-9} s depois de a superfície ser iluminada), mesmo se a intensidade da luz for baixa. Do ponto de vista clássico, se esperaria que os e^- precisassem de certo tempo para absorver a energia da radiação incidente antes de ter a energia cinética suficiente para escapar do metal.

Uma explicação bem sucedida do e.f. foi dada por Einstein em 1905, no mesmo ano em que publicou a sua teoria da relatividade restrita \Rightarrow prêmio Nobel em 1921. Einstein generalizou o conceito de quantização de Planck para as ondas e.m.. Admitir que a luz (ou \forall o.e.m.) de frequência ν , pode ser considerada uma corrente de fótons. Cada fóton tem a energia E dada por

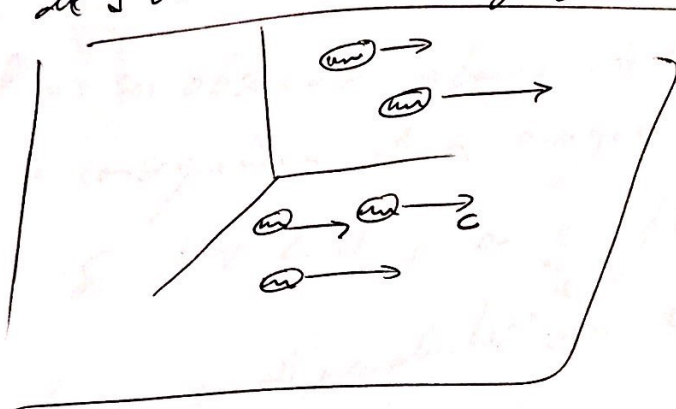
$$E = h\nu \quad (40.8)$$

$h =$ de Planck

⊕ A teoria ondulatória sugere que a amplitude do campo elétrico oscilante \vec{E} da onda luminosa cresce se a intensidade da luz for aumentada. Já que a força aplicada $\omega \vec{e} = e\vec{E}$, isto sugere que a energia cinética dos fotoelétrons deveria também crescer ao se aumentar a intensidade do feixe luminoso. Vemos entretanto de 407 que $K_{máx} = eV_s$ independe de intensidade da luz.

Admitir também que a energia da luz não estivesse, (86)
 distribuída uniformemente sobre a frente de onda clássica
 mas se encontrasse em regiões discretas (ou em "pacotes"),
 os quanta de luz ou fótons.

→ fig 40.7: Imagem de 1ª ordem luminosa progressiva de Einstein



A interpretação simples de Einstein do e.f. era de 1
 fóton transferir toda a sua energia $h\nu$, a 1 único e^-
 no metal. Os e^- emitidos pela superfície do metal tem
 1 certa energia cinética máxima, $K_{máx}$. Deverá Assim, a
 energia cinética máxima dos e^- emitidos é:

$$K_{máx} = h\nu - \phi \quad (40.9)$$

onde ϕ é a função trabalho do metal e constitui a energia
mínima de ligação de 1 e^- no metal a alguns eV: ex/ Na = 2,27 eV
 Fe = 4,50 eV

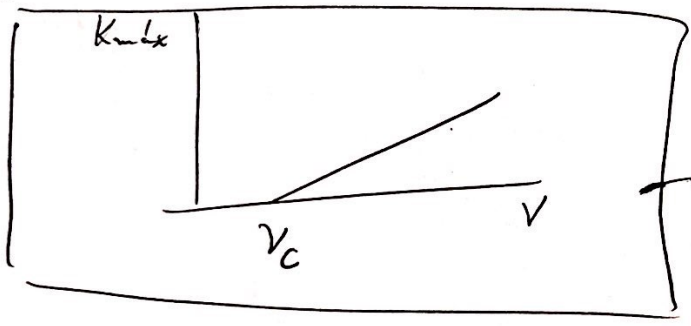
→ esse trabalho é necessário para superar os campos atrativos do átomo na superfície e as perdas de energia cinética devido à colisões internas do e^- . (87)

Assim, as explicações da teoria dos fótons na ordem dos aspectos não explicados classicamente são:

- (1) - O fato de e. f. não ser observado abaixo de 1 certa limiar de frequência é consequência de a energia do fóton ter que ser $\geq \phi$. Se $h\nu < \phi$, os e^- jamais serão ejetados da superfície, independentemente da intensidade da luz ($p/k_{\max} = 0 \Rightarrow |h\nu - \phi|$)
- (2) - O fato de k_{\max} ser independente da intensidade da luz vem do fato de que: se a intensidade for duplicada, o n.º de fótons também o será, o que duplica o n.º de fotoelétrons emitidos. A energia cinética dos e^- porém, $|k_{\max} = h\nu - \phi|$ só depende da frequência da luz e de ϕ , e não da intensidade da luz.
- (3) - $|k_{\max} = h\nu - \phi| \Rightarrow k_{\max}$ aumenta c/ aumento de ν

4) - emissão instantânea → corrente cf teoria corpuscular da luz, para qual a energia incidente aparece em pequenos pacotes e há interação de $\lambda p / \lambda$ dos fótons cf os e^- , o que é bem diferente de a energia dos fótons se distribuir sobre λ grande área.

Uma confirmação final da teoria de Einstein é a verificação experimental da previsão da relação linear entre v e K_{max} → (fig 40.8)



→ fótons de energia menor do que v_c não tem energia suficiente para ejetar e^- do metal.

O coef. angular da curva dá o valor de h . A abscissa da intersecção do eixo horizontal dá o limiar de frequência \downarrow
 $K_{max} = 0$

$$v_c = \frac{\phi}{h}$$

Isto corresponde a um limiar de comp. de onda dado por:

$$\lambda_c = \frac{c}{v_c} = \frac{c}{\phi/h} = \frac{hc}{\phi} \quad (40.10)$$

$c = \text{veloc. da luz}$

$\lambda > \lambda_c$ e dado material cf ϕ não há emissão de fotoelétrons.