

Instituto de Física
USP

Física V - Aula 13

Professora: Mazé Bechara

Aula 13 – A proposta de Einstein para a luz - Aplicações

1. **A proposta de Einstein de granulação na energia da onda eletromagnética: as partículas da onda - os fótons.**
2. **Efeito fotoelétrico (revisão):**
 1. **O que se observa.**
 2. **A explicação de Einstein e seu acordo com os resultados experimentais.**
 3. **Uma representação para o efeito.**
3. **Aplicações**

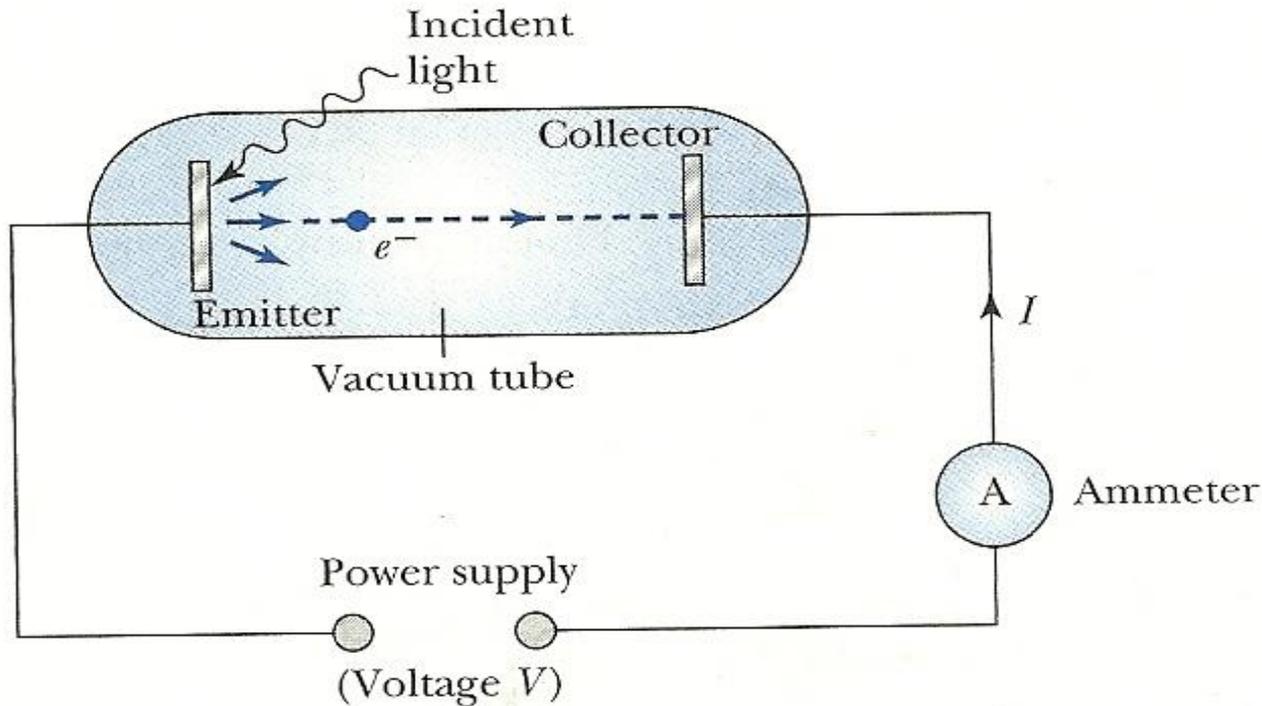
Fótons – partículas com energia (ε) e momento linear (p). Relações entre as grandezas corpusculares (ε , p) e as ondulatórias (ν, λ)

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = pc$$

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4} = pc \quad \text{Fótons: } m_0 = 0$$

Equipamento para medir efeito fotoelétrico

(Cuidado: diferente do usado no Laboratório de Física V!)



A intensidade da luz – compatibilizando onda de Maxwell e fótons de Einstein

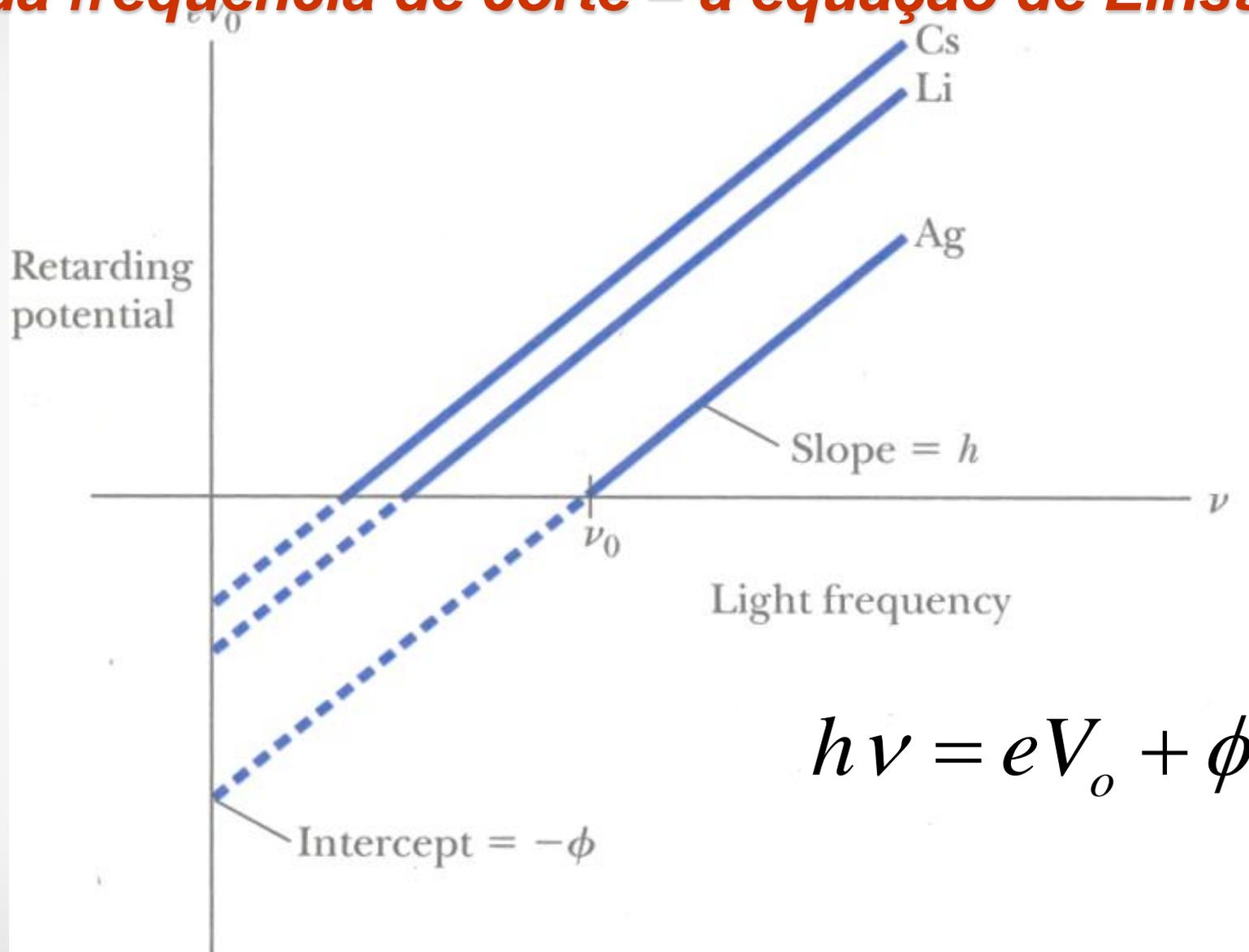
- Partículas nas frentes de ondas eletromagnéticas: com velocidade da luz, c no vácuo, e energia proporcional a frequência.

$$\varepsilon_f = h\nu$$
$$I = \left\langle \frac{dU_{EB}}{dA dt} \right\rangle_t = \left\langle \frac{dN_f}{dA dt} \right\rangle_t h\nu$$

- Para I constante, seja onda plana, esférica ou cilíndrica, a intensidade independe da frequência. Depende apenas da distância à fonte, no caso das ondas esféricas e cilíndrica. :

$$I = \left\langle \frac{|\vec{E}(\vec{r}, t) \times \vec{B}(\vec{r}, t)|}{\mu_0} \right\rangle_t = \frac{E^2(r)}{2\mu_0 c} \implies \left\langle \frac{dN_f}{dA dt} \right\rangle_t \propto \nu^{-1}$$

Medida direta da constante de Planck e da frequência de corte – a equação de Einstein



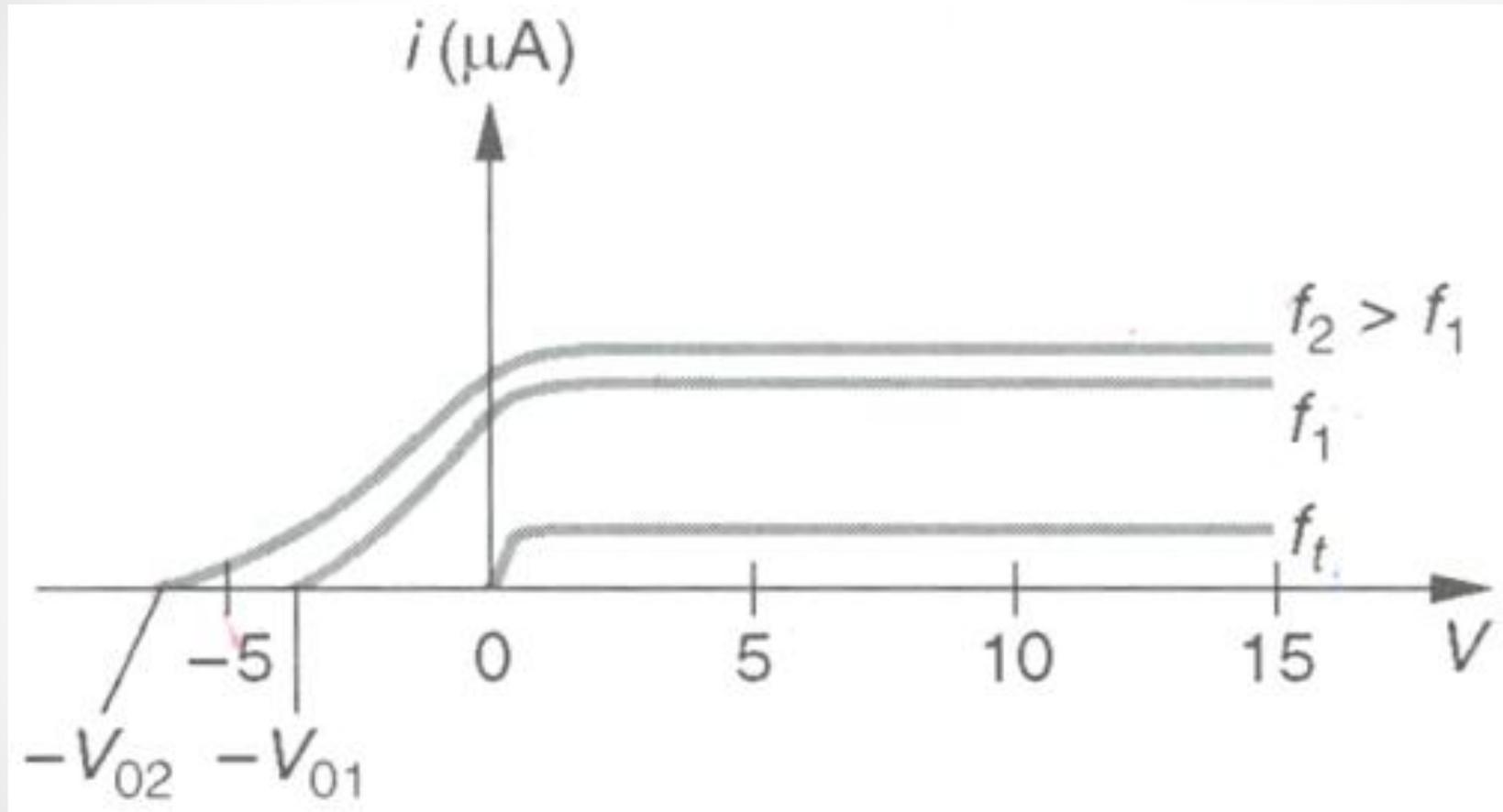
$$h\nu = eV_0 + \phi$$

Efeito fotoelétrico – Aplicação

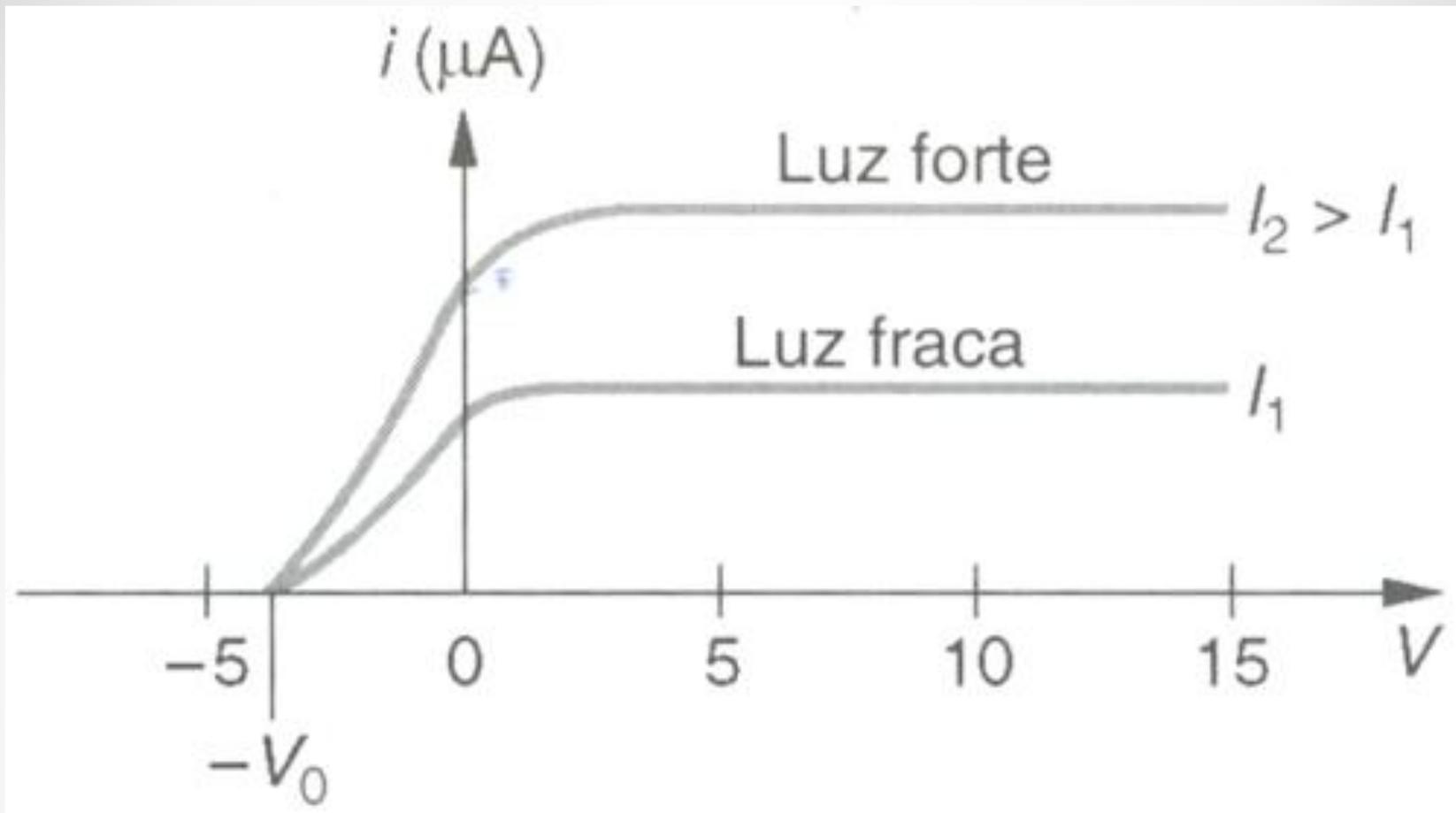
Um feixe monocromático de radiação eletromagnética de comprimento de onda de 2000 angstroms e intensidade de $0,5\text{W/m}^2$ incide sobre uma placa de alumínio, cuja função trabalho é de $4,2\text{eV}$.

- a) **Determine a energia dos fótons e o número médio de fótons emitidos por unidade de área e de tempo, por esta fonte.**
- b) **Explique, em palavras, as condições** para haver emissão de corrente fotoelétrica quando o feixe descrito acima incide na placa de alumínio, **segundo a proposta de Einstein.**
- c) **Determine o potencial de corte** neste caso, e **diga o significado físico desta grandeza.**
- d) **Determine a energia cinética máxima e a energia cinética mínima dos elétrons que saem do material por efeito fotoelétrico**, assim como as respectivas **energias de ligação destes elétrons quando no interior do alumínio. Justifique.**
- e) **Estes elétrons tem velocidades relativísticas** quando saem do material? **Justifique.**
- f) **Qual é a frequência mínima do feixe** para que ocorra o efeito fotoelétrico **no alumínio? Justifique.**
- g) **Determine o momento linear dos fótons (em eV/c) responsáveis pela emissão da corrente fotoelétrica e o(s) momento(s) linear(es) dos elétrons emitidos nesta "colisão". Como fica a conservação do momento linear nesta "colisão". Justifique.**
- h) **Dada sua resposta ao item g), pode-se afirmar que foi usada corretamente a conservação de energia no item c)? Justifique.**

Corrente fotoelétrica i versus o potencial V no catodo emitida em experimentos com **feixes de mesma intensidade mas diferentes frequências f , incidindo sobre mesmo material no emissor.**



☠ **Questão: Por que a corrente de saturação cai com o decréscimo da frequência?**



Questão: O que a variação da corrente com o potencial indica em relação à velocidade dos elétrons quando emitidos do material? Justifique.

Efeito fotoelétrico – Aplicação

Tendo em vista os 100 fótons mínimos para um pulso de luz ser detectado nos olhos humanos:

a) Determine a intensidade mínima de luz amarela sabendo que o diâmetro médio da íris humana é de 5mm.

b) A intensidade mínima é maior ou menor para a luz azul? Justifique