

Instituto de Física
USP

Física V - Aula 13

Professora: Mazé Bechara

Aula 13 – Aplicações do efeito fotoelétrico

Fótons – Relações entre as grandezas corpusculares (ε, p) e as ondulatórias (ν, λ)

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

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

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. :

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

Efeito fotoelétrico – Aplicação

Um feixe monocromático de radiação eletromagnética de comprimento de onda de 2000 angstroms e intensidade de $0,5\text{W}/\text{m}^2$ 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, porque há condições** para haver emissão de corrente fotoelétrica quando o feixe descrito acima incide na placa de alumínio, **segundo a proposta de Einstein. Haveria emissão se o feixe tiver intensidade 100 vezes menor? Justifique. Estime o tempo para emissão da corrente para este feixe pela idéia ondulatória**
- c) **Determine o potencial de corte, e diga o significado físico desta grandeza.** Este potencial será diferente com a intensidade 100 vezes menor?
- 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.**

Visão fotônica e visão humana- *Aplicação*

O olho humano é sensível a um pulso de luz que contenha no mínimo da ordem de 100 fótons por segundo.

- a) **Determine a potência de um pulso visível na luz amarela.** O pulso de luz azul tem potencia maior, menor ou igual? Justifique.
- b) **Estime o mínimo da intensidade de pulso de luz que sensibiliza o olho humano.** A íris humana tem diâmetro da ordem de 5mm.
- c) **Como você explica o fato de um ser humano não ser visto por outro com luz própria** (apesar de alguns serem brilhantes aos olhos de outros, de pontos de vista humanos).

Partículas com massa de repouso

- A energia total de uma partícula com massa de repouso m_0 livre de forças externas:

$$E = E_c + E_o = \sqrt{p^2 c^2 + E_o^2} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} c^2$$

- Para $pc \ll E_o$ chega-se na expressão não relativística para a energia cinética:

$$E = E_c + E_o = E_o \sqrt{\frac{p^2 c^2}{E_o^2} + 1} \cong E_o \left[\frac{1}{2} \frac{p^2 c^2}{E_o^2} + 1 \right] = \frac{1}{2} E_o \frac{p^2 c^2}{E_o^2} + E_o$$

$$\Rightarrow E_c = \frac{p^2}{2m_0}$$

- Método rápido: se $E_c \ll E_o$, pode usar expressão não relativística que dá o mesmo resultado