

Instituto de Física USP

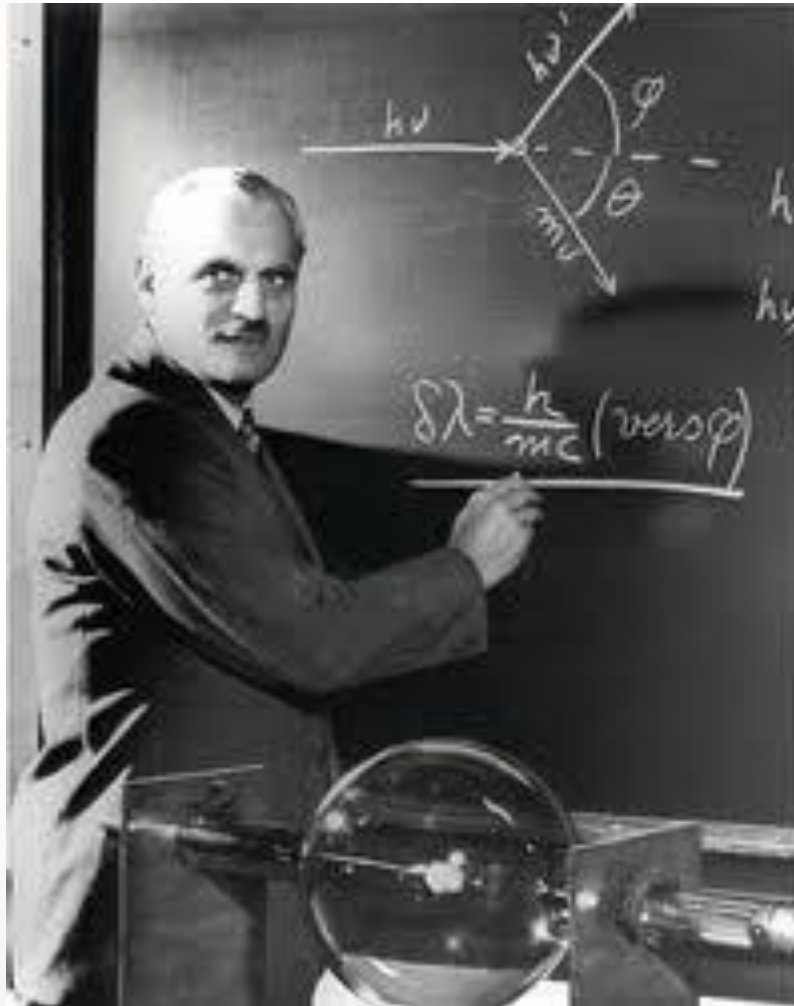
Física V - Aula 11

Professora: Mazé Bechara

Aula 11 - Efeito Compton ou o espalhamento dos Raios-X na interação com a matéria

1. O **Efeito ou espalhamento Compton** – o que é .
2. As características dos espectros de radiação eletromagnética espalhada.
3. Determinação quantitativa da diferença de comprimentos de onda nos dois picos espalhados, em função do ângulo do espalhamento, **segundo a idéia fotônica**: natureza e cálculo do *efeito Compton*. O espalhamento Thomson segundo a visão ondulatória e a fotônica.
4. **Condições** para ocorrer com feixe de raios-X o **efeito fotoelétrico** (absorção do fóton por um elétron ligado da matéria) e o **espalhamento de fótons por elétrons “livres” e por elétrons ligados na matéria: os espalhamentos Compton e Thomson respectivamente** – diferenciando os três fenômenos.
5. Aplicação

Arthur H. Compton (1892 - 1962) – físico americano - Prêmio Nobel de Física de 1927



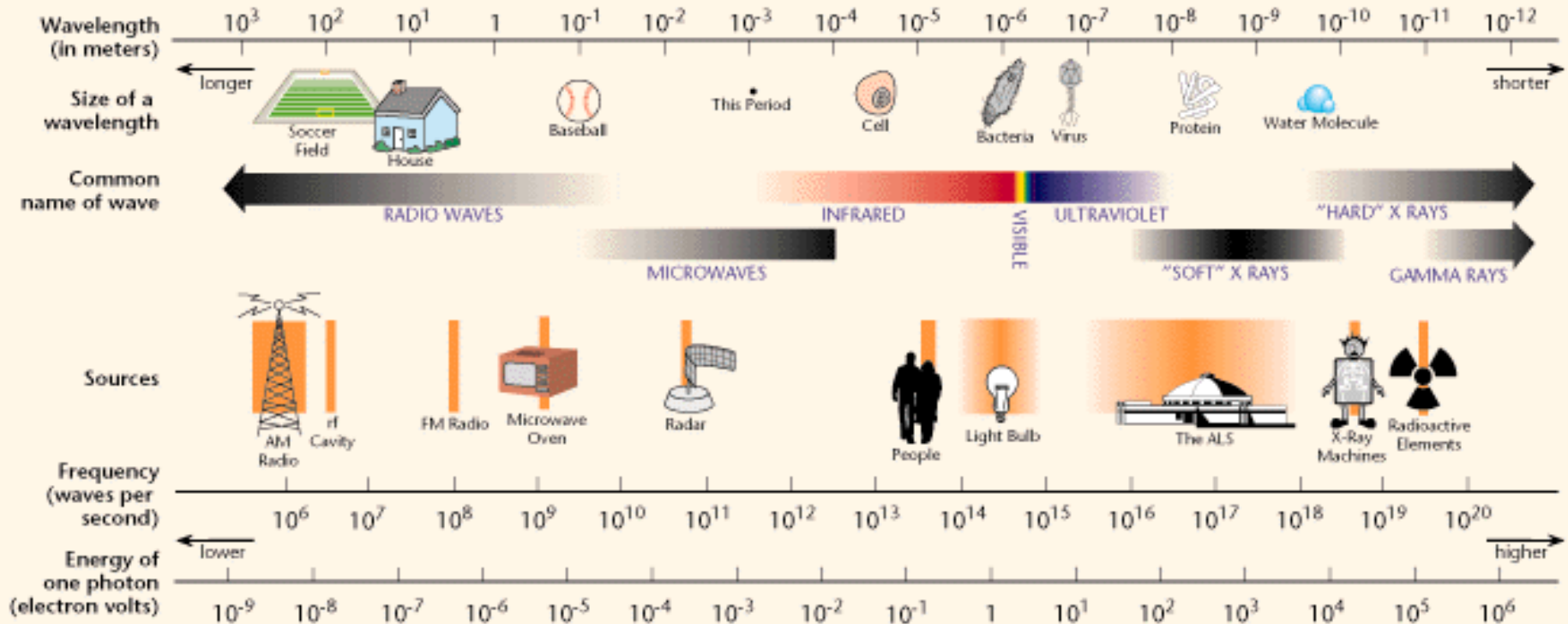
Compton teria sido, segundo alguns autores, o primeiro a chamar de fóton o quanta de luz, em 1926.

Espalhamento Compton

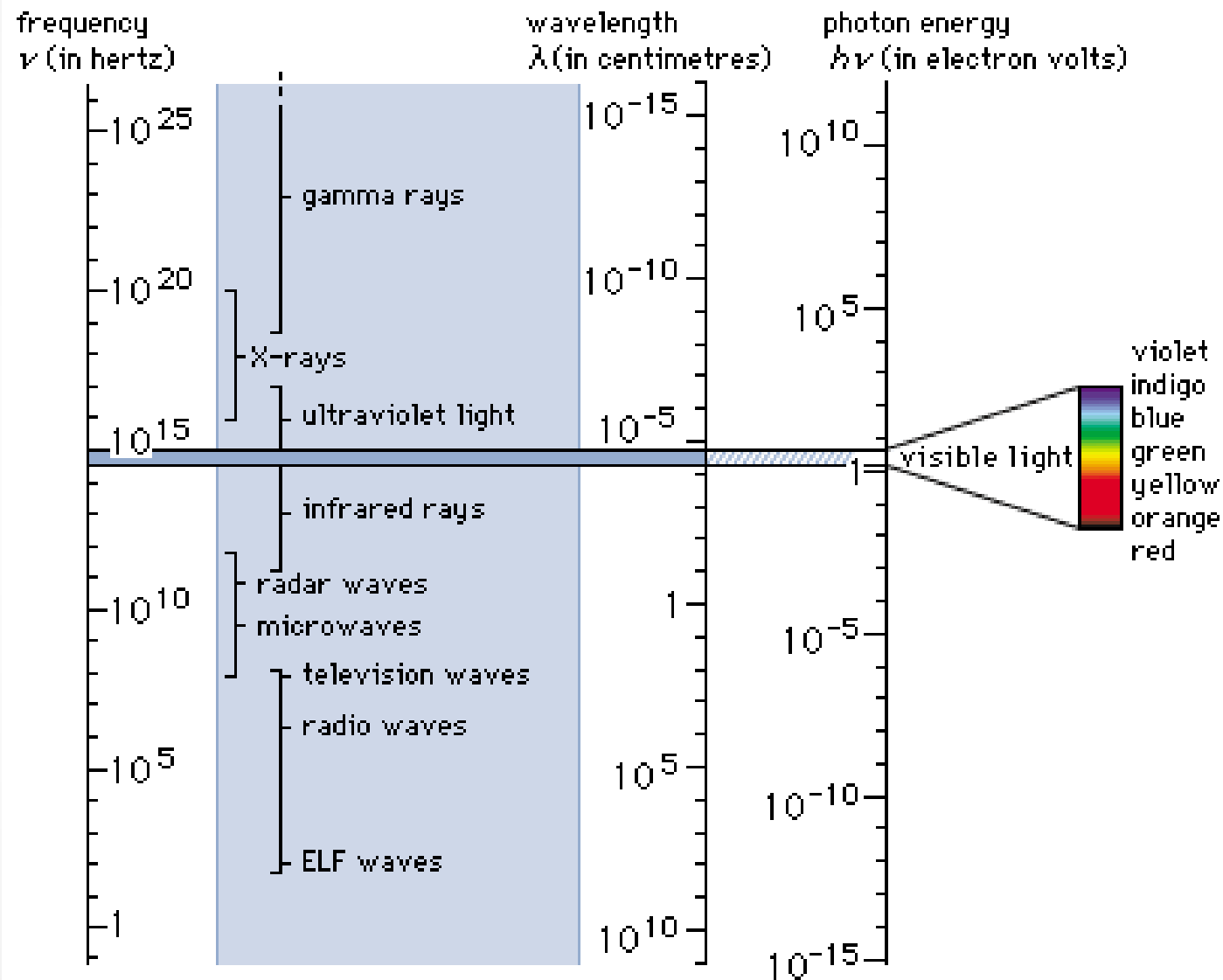
- **O que é:** espalhamento de feixe monocromático de **raios-X ou raios- γ** (radiação eletromagnética com comprimentos de onda da ordem de 1 angstroms ou menores) por materiais.
- **Significado de espalhamento:** depois de incidir (interagir) com um material é observada radiação eletromagnética em diversas direções em relação à direção incidente.
- **Característica da radiação espalhada:** em qualquer ângulo de espalhamento (ângulo diferente de zero com a direção do feixe incidente) há **dois picos** com intensidades proeminentes: um de mesmo comprimento de onda que o incidente (explicado no eletromagnetismo clássico) e outro com **comprimento de onda “um pouquinho” maior que o comprimento de onda incidente - espalhamento Compton.**

Radiação eletromagnética e suas frequências no universo natural e cultural (nomes dependem da origem também)

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



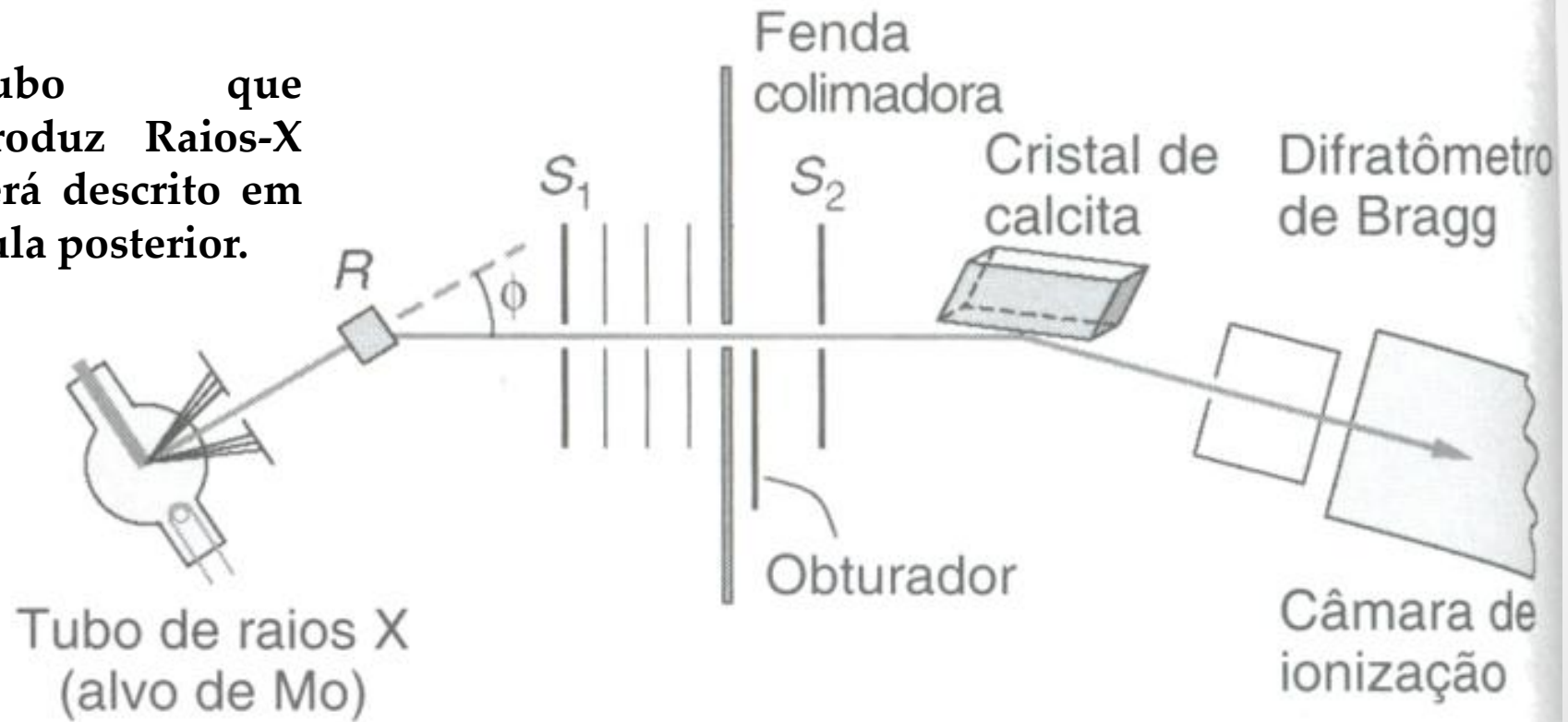
Radiação eletromagnética: nomeados conforme frequência e origem



© 2006 Encyclopædia Britannica, Inc.

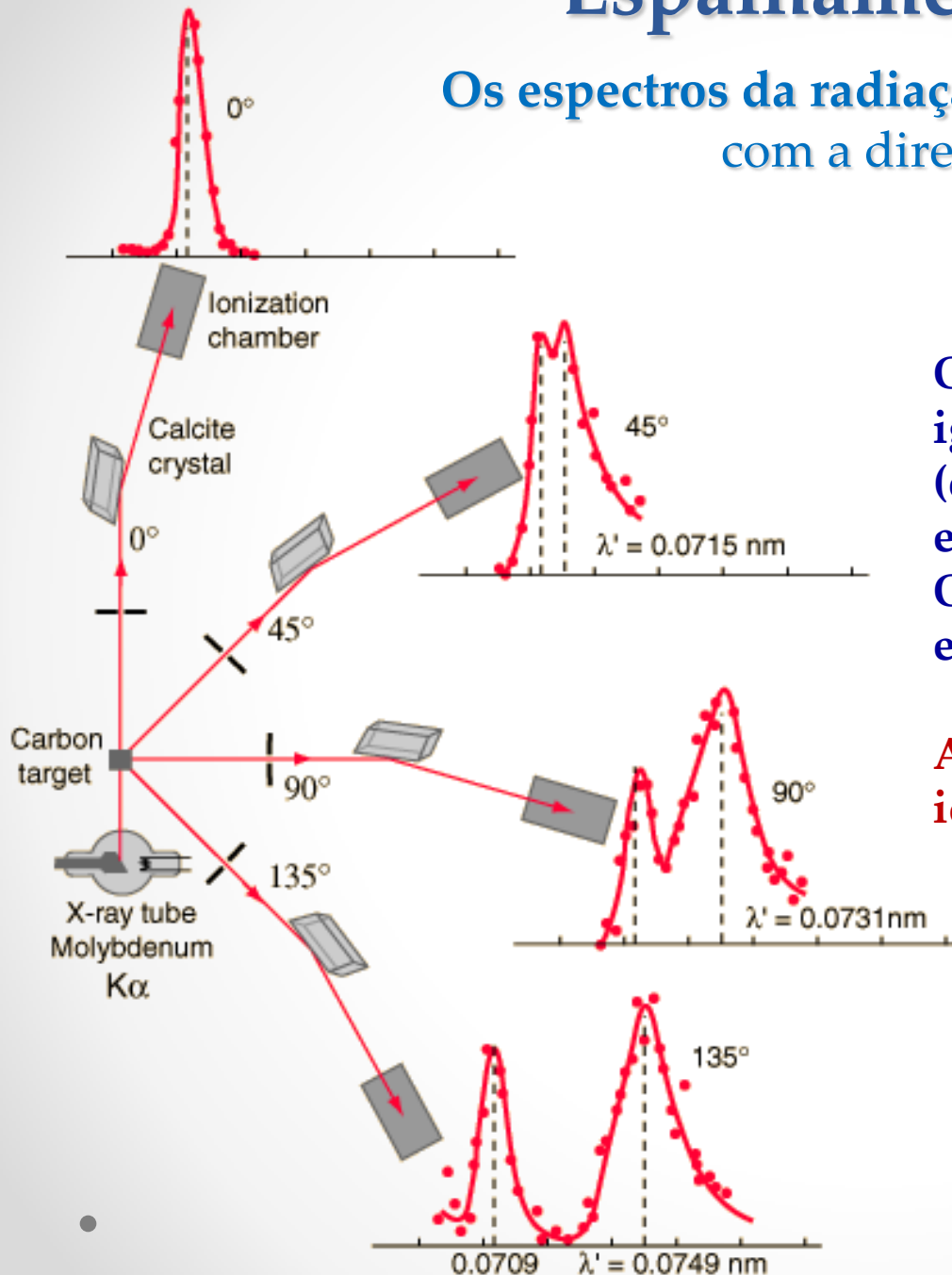
Efeito Compton – o equipamento para produzir os espectros do espalhamento

Tubo que produz Raios-X será descrito em aula posterior.



Espalhamento de Raios-X

Os espectros da radiação espalhada a 45° , 90° e 135° com a direção de incidência



O comprimento de onda menor é igual ao do feixe incidente (espalhamento Thomson - tem explicação na Física Clássica).

O comprimento de onda maior é o do espalhamento Compton.

Ambos os picos têm explicação na idéia fotônica da REM.

Relação observada

$$\Delta\lambda_{\text{exp}} = \lambda' - \lambda_{\text{inc}} = \lambda_c (1 - \cos\theta)$$

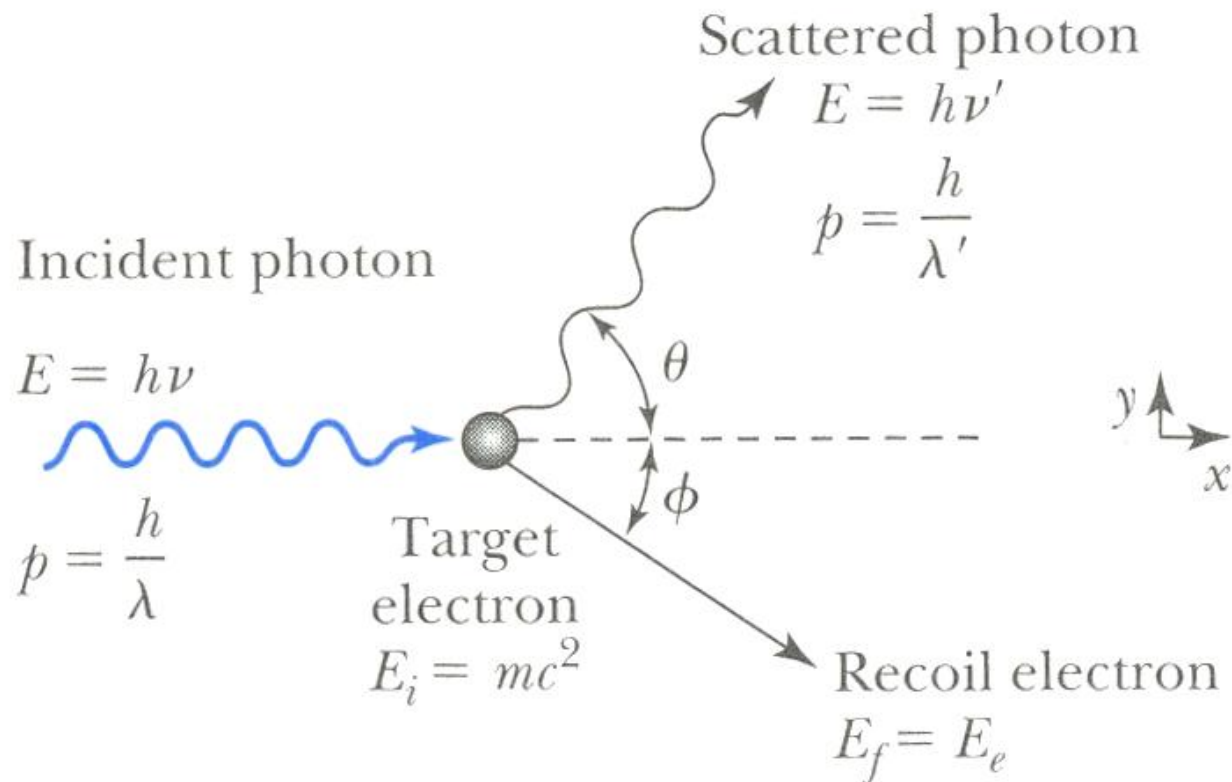
A (meia) explicação da visão ondulatória

- A onda ao incidir em cargas da matéria, promove as oscilações das cargas com a frequência do campo elétrico da onda, e como consequência, as cargas (re)emitem ondas na mesma frequência que a onda, em diferentes direções.
- Pela teoria de Maxwell, uma carga que oscila em uma direção pode emitir onda em qualquer direção perpendicular à direção de oscilação, com diferentes probabilidades para cada ângulo específico, e mesma frequência da oscilação. Este tipo de espalhamento previsto pelo eletromagnetismo clássico é também conhecido como **espalhamento Thomson ou Rayleigh**.

Compton no artigo “Uma Teoria Quântica para o Espalhamento de Raios X por Elementos”

- “A presente teoria depende essencialmente da suposição de que **cada elétron** que participa do processo **espalha um quantum completo (fóton)**. Isto envolve também a hipótese de que **os quanta de radiação vêm de direções definidas e são espalhados em direções definidas**. O apoio experimental da teoria indica de forma bastante convincente que **um quantum de radiação carrega consigo tanto momento quanto energia**”.

Representação do espalhamento: fóton e elétron



Compton scattering of a photon by an electron essentially at rest.

- O elétron “livre” da matéria é emitido ficando efetivamente livre, e formando a corrente Compton (menor que microampere).

Relações relativísticas

$$\varepsilon = \sqrt{p^2 c^2 + m_o^2 c^4} = T + m_o c^2$$

Equação válido para massas de repouso nula (fótons) e não nulas (partículas materiais).

$$\varepsilon = mc^2 = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} c^2$$

Equação válida só para partículas materiais: $m_o \neq 0$ e $v < c$

Fótons – partículas com energia (ε) e momento linear (p).

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

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

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

Resultado do espalhamento: um fóton com um elétron “livre” (energia de ligação desprezível frente à do fóton incidente)

(demonstração em aula para elétron relativístico. Na página da disciplina a demonstração para elétron não relativístico)

$$\lambda_{comp} - \lambda_{inc} = \frac{h}{m_{oe}c} (1 - \cos \theta) = 0,0243 \text{ \AA} (1 - \cos \theta)$$

$$\lambda_{ce} = \frac{h}{m_{oe}c} = 0,0243 \text{ \AA}$$

Observe que cada partícula tem seu comprimento de onda Compton

Espalhamento de um fóton com um elétron ligado ou por um núcleo

- Na **interação de um fóton** com **um elétron ligado ao núcleo ou com o próprio núcleo**.
- A massa m_o é pelo menos 2000 vezes menor (massa do núcleo mais leve: hidrogênio) que a massa de repouso do elétron. O **comprimento de onda Compton é pelo menos 2000 vezes menor**.

$$\lambda' - \lambda_{inc} = \frac{h}{m_o c} (1 - \cos \theta) \leq 0,000012 \text{ \AA} (1 - \cos \theta)$$

- **Essa diferença** no valor do comprimento de onda **não é possível de se observar experimentalmente**.
- Neste caso a energia transferida do fóton ao elétron ligado ou núcleo não consegue arrancar o elétron ou núcleo do material.
- Esta é **a explicação fotônica para o espalhamento com o comprimento de onda idêntico ao do feixe incidente**.

Efeito Compton - Aplicação 01

Um feixe de Raios-X de comprimento de onda de $0,500\text{\AA}$ incide sobre uma folha de ouro.

a) Determine a energia dos fótons do feixe.

b) Determine o valor máximo e o valor mínimo, em angstroms, do comprimento de onda dos fótons espalhados. Explícite os ângulos de espalhamento nos quais há feixe espalhado com o valor máximo e com o valor mínimo do comprimento de onda. Justifique.

c) Determine a energia cinética máxima e a mínima dos elétrons arrancados do material no efeito Compton, e os ângulos nos quais os fótons que os arrancaram foram espalhados. Justifique.

d) Determine a porcentagem de energia e de momento linear de um fóton que foi transferida no espalhamento para os casos do item (b). Explique "quem" recebe a energia e o momento linear do fóton espalhado com o maior comprimento de onda e com o menor comprimento de onda.

e) Há relação entre as intensidades dos feixes espalhados em todos os ângulos, nos diversos comprimentos de onda, com a intensidade do feixe incidente? Justifique.

f) O feixe incidente pode produzir corrente fotoelétrica no ouro? Em que condições? Justifique.

Sugestão – compare a sua resposta ao item (d) com o que ocorre no caso do efeito fotoelétrico.