

Os números dos capítulos, das seções e dos exercícios são os da 12ª edição do livro Física IV de Sears e Zemansky. Os números entre parênteses se referem aos capítulos, às seções e aos exercícios correspondentes da 10ª edição.

Capítulo 38(40): Fótons, Elétrons e Átomos

- **Número de aulas:** 2 aulas de 17/10 a 20/10
- **Seções do livro texto:** 38.7(40.8) *Efeito Compton* e 38.3 *Espectro Atômico de Linhas e Níveis de Energia*; 38.4 *O Núcleo do Átomo* e 38.5 *O Modelo de Bohr* (40.4 a 40.6)
- **Exercícios sugeridos:** 38.36(40.32), 38.38(40.30), 38.41(40.33), 38.74(40.64), 38.76(40.59), 38.25(40.19), 38.27(40.21), 38.59(40.49), 38.63(40.55), 38.79(40.67), 38.80(40.68).

Capítulo 39(41): A Natureza Ondulatória das Partículas

- **Número de aulas:** 2 aulas de 24/10 a 27/11
- **Seções do livro texto:** 39.1 *Onda de de Broglie*; 39.2 *Difração de Elétrons*; 39.3 *Probabilidade e Incerteza* e 39.5 *A Função de Onda e a Equação de Schrödinger* (41.1 até 41.4 e 41.6)
- **Exercícios sugeridos:** 39.6(41.6), 39.13(41.13), 39.16(41.10), 39.22(41.16), 39.24(41.14), 39.26(41.18), 39.46(41.32), 39.47(41.33), 39.48(41.36), 39.52(41.40), 39.29(41.25), 39.66(41.52), 39.70(41.56).

Capítulo 40(42): Mecânica Quântica

- **Número de aulas:** 2 aulas de 31/10 a 7/11 (MEC e QUI) e de 1/11 a 3/11 (CIV)
- **Seções do livro texto:** 40.1 *Partícula em uma Caixa*; 40.2 *Poço de Potencial*; 40.3 *Barreira de Potencial e Tunelamento* e 40.4 *O Oscilador Harmônico* (42.1 a 42.6)
- **Exercícios sugeridos:** 40.2(42.2), 40.6(42.4), 40.8(42.10), 40.11(42.7), 40.15(42.14), 40.19(42.15), 40.26(42.22), 40.27(42.23), 40.38(42.28), 40.43(42.37), 40.47(42.43), 40.52(42.47).

Capítulo 41(43): Estrutura Atômica

- **Número de aulas:** 2 aulas de 9/11 a 16/11 (MEC e QUI) e de 8/11 a 10/11 (CIV)
- **Seções do livro texto:** 41.1 *O Átomo de Hidrogênio*; 41.2 *O Efeito Zeeman*; 41.3 *O Spin do Elétron* e 41.4 *Átomos com Muitos Elétrons e o Princípio de Exclusão* (43.1 a 43.5)
- **Exercícios sugeridos:** 41.4(43.2), 41.6(43.4), 41.8(43.6), 41.15(43.13), 41.23(43.21), 41.24(43.24), 41.25(43.25), 41.41(43.35), 41.43(43.37).

P3 em 22 de novembro às 13:10

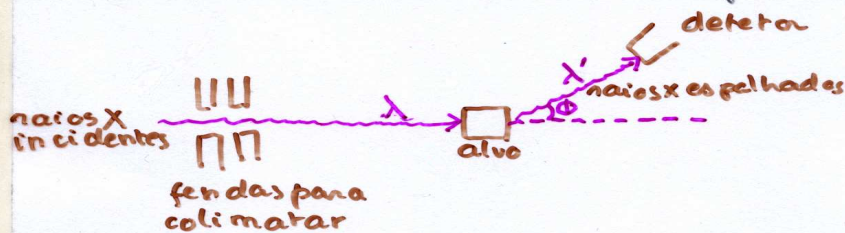
SUB em 29 de novembro às 13:10

REC em data a ser determinada

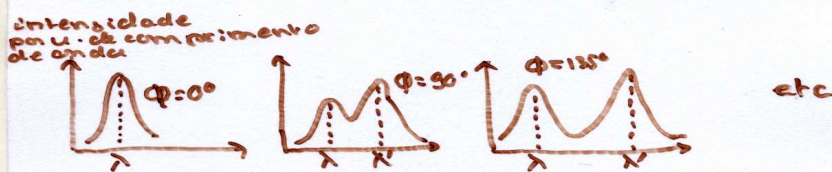
O efeito Compton (§ 40.8)

É o espalhamento (= redirecionamento) de raios X por elétrons de um alvo.

Esta experiência, feita por Compton entre 1919 e 1923, forneceu a evidência mais direta das propriedades corpusculares da luz. Ele recebeu o Nobel em 1927 por isto.



Mede-se λ' para vários ϕ e obtém-se o seguinte:

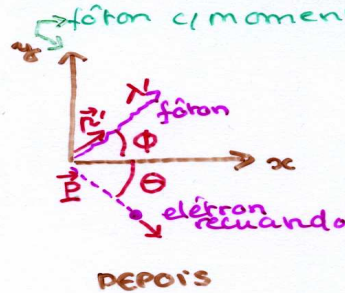
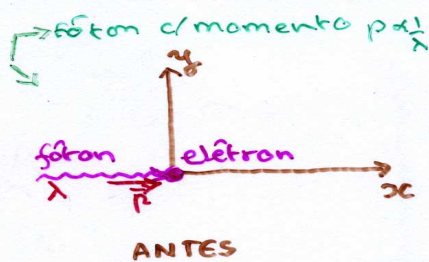


Teoria clássica:

Radiação de comprimento de onda λ incide sobre elétrons livres do alvo (grafite por ex.). Ela os faz oscilar com frequência c/λ , como numa antena. Estes elétrons oscilando emitem radiação com comprimento de onda λ . Assim deveria ter um só pico, em λ , qualquer que seja ϕ . Não se entende a existência do 2º pico.

Explicação quântica de Compton:

Ele tratou a colisão fóton-elétron livre do alvo como uma colisão de bolas de sinuca relativísticas.



LEMBRETE:

Na mecânica clássica, temos 3 leis de conservação: massa, momento, energia.

Na relatividade restrita, temos 2: massa-energia e momento.

(Na vida de cada dia, as variações de massa são tão pequenas, que se pode conservar separadamente massa e energia, i.e. fazer um tratamento clássico.)

A energia de uma partícula de massa de repouso m é:

$$E = \gamma mc^2$$

e seu momento:

$$\vec{p} = \gamma m \vec{v}$$

$$\text{com } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Uma relação útil entre E e \vec{p} é: $E = \sqrt{(mc^2)^2 + (pc)^2}$

Para uma partícula de massa nula como o fóton:

$$E = pc$$

$$v = c \text{ (sempre) no vácuo.}$$

Com isto, escrevemos a conservação de massa-energia para o efeito Compton:

$$E_\gamma + \underset{\substack{\downarrow \\ \text{e' parado}}}{mc^2} = E_{\gamma'} + \underset{\substack{\downarrow \\ \text{e' recuando}}}{E}$$

$$\Leftrightarrow pc + mc^2 = p'c + \sqrt{(p'c)^2 + (mc^2)^2}$$

$$\Rightarrow [(p-p')c + mc^2]^2 = (p'c)^2 + (mc^2)^2$$

Escrevemos a conservação de momento:

$$\vec{p} = \vec{p}' + \vec{P}$$

$$\Rightarrow p^2 = (\vec{p} - \vec{p}')^2 = p^2 + p'^2 - 2pp' \cos \phi$$

e substituímos na equação anterior:

$$\cancel{p^2 c^2} + \cancel{p'^2 c^2} - 2pp'c^2 + \cancel{(mc^2)^2} + 2(p-p')mc^2 = \cancel{p^2 c^2} + \cancel{p'^2 c^2} - 2pp'c^2 \cos \phi + \cancel{(mc^2)^2}$$

$$\Leftrightarrow (1 - \cos \phi) pp' = (p-p')mc \Leftrightarrow (1 - \cos \phi) = \left(\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} \right) mc$$

Usando $p = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda}$, temos:

$$\Delta \lambda = \left(\frac{h}{mc} \right) (1 - \cos \phi) \quad \text{Espalhamento Compton}$$

$\lambda_c = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ (comprimento de onda Compton)

5

Esta equação está de acordo com as observações em magnitude e em dependência angular. Em particular:

$\phi = 0 \Rightarrow \lambda' = \lambda$: colisão razante onde o fóton inicial é apenas espalhado

$\phi = 180^\circ \Rightarrow \lambda' = \lambda + 2\lambda_c$: colisão frontal com o fóton inicial invertendo seu movimento

falta explicar o 1º pico se $\phi \neq 0$. Ele vem da colisão do fóton inicial, não com um elétron livre do alvo mas com um átomo. Neste caso, a massa envolvida é muito grande. fazendo $m \rightarrow \infty$ na fórmula do espalhamento Compton, temos $\lambda' = \lambda$, i.e. o 1º pico.

Exemplo:

Um feixe de raios X de comprimento de onda 0,20 nm é espalhado por um alvo. Os raios X são observados sob um ângulo de 45° em relação ao feixe incidente.

- Calcular o comprimento de onda dos raios X espalhados sob este ângulo
- Achar a fração de energia perdida pelo fóton nesta colisão.

$$a) \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \phi) = 2,43 \cdot 10^{-12} (1 - \cos 45^\circ) = 7,10 \cdot 10^{-13} \text{ m}$$

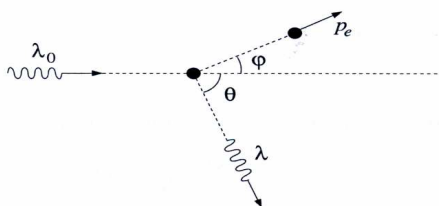
$$\Rightarrow \lambda' = 0,20 \cdot 10^{-9} + 7,10 \cdot 10^{-13} = 0,200710 \text{ nm}$$

$$b) \frac{\Delta E}{E_i} = \frac{-\frac{hc}{\lambda'} + \frac{hc}{\lambda}}{\frac{hc}{\lambda}} = \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda'} = 0,00354$$

Física IV - 4320402
Escola Politécnica - 2010
GABARITO DA P3
30 de novembro de 2010

Questão 1

Em uma colisão relativística, um fóton com comprimento de onda λ_0 colide com um elétron de massa m_0 em repouso. Após a colisão, indicamos por λ e θ o comprimento de onda e ângulo de espalhamento do fóton e por p_e e φ o módulo do momento e o ângulo de espalhamento do elétron, conforme a figura.



- (a) (1,0 ponto) Escreva as leis de conservação de energia e momento para esta colisão em função de λ_0 , λ , p_e , φ , θ , m_0 , h e da velocidade da luz c .
- (b) (0,5 ponto) Para $\theta = 90^\circ$, calcule o momento do fóton após a colisão em função de λ_0 , m_0 , h e da velocidade da luz c .
- (c) (1,0 ponto) Nas condições do item (b), determine o ângulo de espalhamento do elétron em função de λ_0 , m_0 , h e da velocidade da luz c .

P3

Física IV - FAP2204
Escola Politécnica - 2009
GABARITO DA P3
8 de dezembro de 2009

Questão 1

Numa experiência de espalhamento Compton, um elétron de massa m_0 em repouso espalha um fóton de comprimento de onda $\lambda = 2\lambda_C$, onde $\lambda_C = h/(m_0c)$ é comprimento de onda de Compton do elétron. Após o espalhamento, o fóton perde metade de sua energia.

- (a) (1,0 ponto) Calcule o comprimento de onda do fóton espalhado (expresse seu resultado em função de λ_C apenas) e seu ângulo de espalhamento.
- (b) (1,0 ponto) Calcule a energia do elétron após a colisão em função de m_0 e c .
- (c) (0,5 ponto) Calcule o comprimento de onda de de Broglie do elétron após a colisão. Escreva seu resultado em função de h , m_0 e c . Observação: utilize o momento relativístico para o elétron.

Física IV

Escola Politécnica - 2008
FAP 2204 - GABARITO DA P3
25 de novembro de 2008

Questão 1

É realizado um experimento onde fótons são espalhados por elétrons livres inicialmente em repouso. São observados os fótons que emergem em um ângulo $\theta = 90^\circ$ relativamente à direção de incidência e os elétrons de recuo correspondentes.

Na solução dos itens abaixo denomine: λ' , o comprimento de onda do fóton espalhado; λ , o comprimento de onda do fóton incidente; ϕ , o ângulo entre o elétron espalhado e a direção de incidência do fóton; \vec{p}_e , o vetor momento linear do elétron espalhado.

- (a) (1,0 ponto) Use a conservação do momento linear para calcular o módulo do momento linear p_e do elétron espalhado em função de h , λ e λ' . Calcule o comprimento de onda de Broglie λ_e do elétron em função de λ e λ' .
- (b) (1,0 ponto) Use a conservação de energia para calcular a energia cinética relativística K_e do elétron em função de h , c , λ e λ' .
- (c) (0,5 ponto) Os elétrons espalhados são completamente freiados por uma diferença de potencial V . Expresse a energia cinética K_e em função apenas da carga e do elétron e de V . Usando o resultado do item (b) e a equação para o efeito Compton, calcule λ e λ' em função de V , h , c , e e do comprimento de onda de Compton λ_c .

Em uma experiência do tipo Compton, um fóton de comprimento de onda λ_0 colide com um elétron em repouso. Após a colisão, é detectado um fóton possuindo comprimento de onda $\lambda' = \lambda_0 + \Delta\lambda$, em uma direção formando um ângulo θ com a direção do fóton incidente.

- (1,0 ponto) (a) Os dados ao lado apresentam os resultados de uma experiência do tipo Compton. Qual foi o comprimento de onda λ_0 usado? (Explique).
- (1,0 ponto) (b) Calcular o valor esperado para $\Delta\lambda$ no caso $\theta = 90^\circ$. Verifique se o resultado está de acordo com os dados mostrados.
- (0,5 ponto) (c) Calcular o valor numérico da perda de energia máxima $\Delta E/E_0$ dos fótons. (E_0 é a energia do fóton antes da colisão.)

Dados: $\lambda_c = 0,0243 \text{ \AA}$ e
 $\Delta\lambda = \lambda_c(1 - \cos\theta)$

