

**FÍSICA MODERNA I - 1º SEMESTRE 2016**  
**3ª LISTA DE EXERCÍCIO**

QUESTÕES

- (1) Um tubo de imagem de TV emite raios X? Explique.
- (2) Um fóton de energia E tem massa?
- (3) Por que, no espalhamento Compton,  $\Delta\lambda$  é independente do material do espalhador?
- (4) Você pode observar o efeito Compton com luz visível?
- (5) Você esperaria que o espalhamento Compton fosse mais provável utilizando material espalhador de número atômico alto ou de número atômico baixo? Explique.
- (6) Pode ocorrer a aniquilação de um par elétron pósitron com emissão de um único fóton, se houver um núcleo próximo para absorver o momento excedente?

EXERCÍCIOS

1. O comprimento de onda mínimo no espectro contínuo de raios X emitidos por um tubo de TV é de 0.124 nm. Qual a tensão de aceleração dos elétrons nesse tubo? R: 10 kV.
2. Um fóton de energia inicial de 100 keV que se move no sentido positivo do eixo x, colide com um elétron livre em repouso. O fóton é espalhado de um ângulo de  $90^\circ$ , indo no sentido positivo do eixo y. Ache os componentes do momento do elétron. R:  $p_x = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ eV}\cdot\text{s}/m$ ;  $p_y = 0,28 \cdot 10^{-3} \text{ eV}\cdot\text{s}/m$ ;  $\varphi = 40^\circ$ .
3. Mostre que  $\Delta E/E$ , a variação relativa da energia do fóton no espalhamento Compton, é igual a  $(h\nu'/m_0c^2)(1 - \cos\theta)$ .
4. Qual a energia cinética máxima possível, bem como o momento de um elétron envolvido no processo Compton em termos da energia do fóton incidente  $h\nu$  e da energia de repouso do elétron  $m_0c^2$ ? R:  $E_e = m_0c^2 + h\nu[1 + m_0c^2/(m_0c^2 + 2h\nu)]$
- 5.- Determine a variação máxima do comprimento de onda no espalhamento Compton por *prótons*.
- 6.- Considere um feixe de raios X, com  $\lambda = 1.00\text{Å}$ , e também um feixe de raios  $\gamma$  vindo de uma fonte de  $^{137}\text{Cs}$ , com  $\lambda = 1.88 \cdot 10^{-2}\text{Å}$ . Se a radiação espalhada pelos elétrons livres é observada a  $90^\circ$  do feixe incidente: a) Qual o deslocamento Compton em cada caso? b) Que energia cinética é cedida ao elétron em cada caso? c) Que percentagem da energia do fóton incidente é perdida na colisão em cada caso?
- 7.- Raios X com  $\lambda = 0.71\text{Å}$  ejetam fotoelétrons de uma folha de ouro. Os elétrons descrevem círculos de raio r em uma região onde há um campo de indução magnética B. A experiência mostra que  $rB \leq 1,88 \cdot 10^{-4} \text{ tesla}\cdot\text{m}$ . Ache: a) a energia cinética máxima dos fotoelétrons. b) o trabalho realizado ao remover o elétron da folha de ouro. R: a) 3keV b) 14.5 keV.
- 8.- Um raio  $\gamma$  cria um par elétron pósitron. Mostre diretamente que, sem a presença de um terceiro corpo para absorver uma parte do momento, a energia e o momento não podem se conservar simultaneamente. (Sugestão: suponha que a energia seja conservada e mostre que isto implica em momentos diferentes antes e depois da interação).
- 9.- Suponha que um par elétron pósitron é criado por um fóton que tem a energia limite ( $2m_0c^2$ ) para que o processo ocorra. a) Calcule o momento transferido a um núcleo no processo. b) suponha que o núcleo é o de um átomo de chumbo e calcule a energia cinética do núcleo atingido. É razoável desprezarmos essa energia, comparada com a energia limite, como feito acima?
- 10.- O coeficiente de absorção de massa para fótons de energia 1 MeV é igual a  $0.06 \text{ cm}^2/\text{g}$  tanto para o Al quanto para o Pb. Calcule a espessura de um absorvedor de Al e a de um de Pb, capaz de reduzir a intensidade de um feixe de fótons dessa energia, para 5% de seu valor inicial. (dado:  $\rho(\text{Al}) = 2.7 \text{ g}/\text{cm}^3$ ,  $\rho(\text{Pb})=11 \text{ g}/\text{cm}^3$ ). a) 19cm b) 4.5 cm
- 11.- Sob condições ideais, o olho humano registra um estímulo visual a  $5500 \text{ Å}$  se mais de 100 fótons forem absorvidos por segundo. A que potência isso corresponde?
- 12.- Obtenha a relação:

$$\cot \frac{\theta}{2} = \left(1 + \frac{h\nu}{m_0c^2}\right) \tan \varphi$$

entre as direções de movimento do fóton espalhado e do elétron envolvidos no efeito Compton.

13.- Raios-X de comprimento de onda 0,200 nm são espalhados por um bloco de carbono. Se a radiação espalhada é detectada a  $90^\circ$  em relação à dos raios incidentes, encontre a) o deslocamento Compton  $\Delta\lambda$  e b) a energia cinética do elétron em recuo. Resp: a) 0,00243 nm b) 74,4 eV

14.- Raios-X com comprimento de onda 0,040 nm sofrem espalhamento Compton. a) Encontre o comprimento de onda dos fótons espalhados a  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$  e  $210^\circ$ . b) Encontre a energia da partícula espalhada correspondente. c) Qual dos ângulos de espalhamentos dá ao elétron a maior energia de recuo? Resp: a) 0,0403, 0,0412, 0,0436, 0,0445, 0,0448, 0,0445 nm, b) 231, 905, 1760, 2570, 3140, 3330, 3140 eV, c)  $t = 180^\circ$

15.- Mostre que a razão entre o comprimento de onda Compton  $\lambda_C = h/mc$  e o comprimento de onda de de Broglie para um elétron relativístico é dada por:

$$\frac{\lambda_C}{\lambda} = \left[ \frac{E}{mc^2} - 1 \right]^{1/2}$$

16.- Raios gama (fótons de alta energia de origem nuclear) de energia 1,02 MeV são espalhados por elétrons inicialmente em repouso. Se o espalhamento é simétrico, isto é  $\theta = \phi$ , encontre a) o ângulo de espalhamento  $\theta$  e b) a energia dos fótons espalhados. Resp: a)  $\theta=41,5^\circ$  b) 0,679 MeV

17.- Um fóton de energia inicial 0,1 MeV sofre espalhamento Compton em ângulo de  $60^\circ$ . Encontre a) a energia do fóton espalhado b) a energia de recuo do elétron e c) o ângulo de recuo do elétron. Resp: a)  $9,11 \times 10^4$  eV b) 8,90 keV c)  $55,4^\circ$

18.- Um núcleo excitado de ferro ( $A=57$ ) decai para o estado fundamental pela emissão de um fóton. A energia disponível para a transição (diferença de energia entre o estado excitado e o fundamental) é de 14,4 keV. a) qual a redução da energia do fóton, do valor máximo possível (14,4 keV), devido a energia de recuo do núcleo? b) Qual o comprimento de onda do fóton emitido? Resp: a)  $1,95 \times 10^{-3}$  eV b) 0,0861 nm

19.- Numa colisão Compton com um elétron, um fóton de luz violeta (4000Å) é retro espalhado em ângulo de  $180^\circ$ . a) Quanta energia (eV) é transferida ao elétron nessa colisão? b) Compare o resultado com a energia adquirida pelo elétron ao sofrer efeito fotoelétrico com um fóton de mesmo comprimento de onda. c) Poderia a luz violeta ejetar elétrons de um metal por espalhamento Compton? Resp: a)  $3,77 \times 10^{-5}$  eV b) 3,10 eV c) Não pois a energia máxima ( $\theta=180$ ) é insuficiente.

20.- Uma partícula misteriosa entra na região entre as placas de deflexão de um aparelho de Thomson, como mostrado na figura. O ângulo de deflexão  $\theta$  é determinado como 0,2 rd (para baixo) para essa partícula quando  $V=2000$  V, comprimento das placas 10 cm e distância entre as placas 2 cm. Se um campo magnético perpendicular de magnitude  $4,57 \times 10^{-2}$  T é aplicado simultaneamente com o campo elétrico, a partícula passa entre as placas sem deflexão. a) Encontre q/m para essa partícula. b) Identifique a partícula. c) Encontre a velocidade horizontal com que a partícula entrou na região entre as placas. d) Deve-se usar mecânica relativística para este problema? Resp: a)  $9,58 \times 10^7$  C/kg b) prótons

21.- Qual o comprimento de onda mínimo produzido por um aparelho de raios-X operando a um potencial de 30 kV? Resp: 0,0413 nm

22.- O acelerador linear de Stanford pode acelerar elétrons até 50 GeV. Qual o menor comprimento de onda que pode ser produzido por bremsstrahlung? São esses fótons ainda chamados raios-X?

23.- Um tubo de TV opera a 20 kV. Qual o  $\lambda_{min}$  para os raios-X produzidos na colisão desses elétrons com o fósforo da tela? Resp: 0,0620 nm

24.- Calcular  $\Delta\lambda/\lambda$  do espalhamento Compton para luz verde ( $\lambda=530$  nm). Poderia esse efeito ser facilmente observado?

25.- Se um fóton de 6 keV é espalhado por um próton em repouso, qual a variação no comprimento de onda do fóton espalhado a  $90^\circ$ ?

26.- Um raio gama de 700 keV de energia é espalhado por um elétron. Encontre a energia do fóton espalhado a  $110^\circ$ , a energia do elétron espalhado e o ângulo de recuo do elétron.

27.- Qual a energia de um fóton necessária para produzi um par próton-antipróton?

28.- Qual o comprimento de onda mínimo de um foton capaz de produzir elétrons com energia de 30 keV em um espalhamento Compton?

29.- Mostre que a energia cinética máxima do elétron em recuo em um espalhamento Compton é dada por:

$$E_{max}^{cin} = h\nu \frac{\frac{2h\nu}{mc^2}}{1 + \frac{2h\nu}{mc^2}}$$