

**FÍSICA MODERNA I - 1º SEMESTRE 2016**  
**4ª LISTA DE EXERCÍCIOS**

1.- Um feixe fino de partículas  $\alpha$  de energia 4.8 MeV incide normalmente num alvo de Cu de  $10^{-4}$  cm de espessura. A intensidade do feixe é de  $10^6$  partículas por segundo e a densidade do Cu é  $8.9 \text{ g/cm}^3$ . Quantas cintilações por segundo serão produzidas pelas partículas espalhadas numa tela fluorescente de  $2 \times 2$  mm, colocada a 5 cm do centro do alvo e numa direção fazendo um ângulo de  $60^\circ$  com a do feixe incidente? (Este foi um dos casos estudados por Geiger e Marsden).

2.- Uma bola de raio desprezível colide elasticamente com uma esfera rígida de raio R, sofrendo uma deflexão de ângulo  $\theta$  com a direção de incidência. Sabe-se que em relação à normal no ponto de colisão, o ângulo de incidência é igual ao de emergência. a) Mostre que o parâmetro de impacto  $b$  e ângulo de espalhamento estão relacionados por  $b = R \cos(\theta/2)$ . b) Qual a seção de choque para espalhamento em ângulos maiores que  $\theta$ ? c) Qual a seção de choque total?

3.- Mostre que o número de partículas espalhadas em um ângulo  $\Theta$  ou maior no espalhamento Rutherford é dado por:

$$N(\Theta) = \left( \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \pi I \rho t \left( \frac{zZe^2}{Mv^2} \right)^2 \cot^2(\Theta/2)$$

4.- A fração de prótons com 6 MeV espalhados por uma folha de Au, cuja densidade é  $19.3 \text{ g/cm}^3$ , em ângulos maiores que  $60^\circ$  é igual a  $2 \cdot 10^{-5}$ . Calcule a espessura da folha de Au, usando os resultados do problema anterior.

5.- Usando a fórmula de Bohr, calcule os três maiores comprimentos de onda da série de Balmer. Entre que limites de comprimento de onda está a série de Balmer?

6.- Calcule o menor comprimento de onda da série de Lyman e o da série de Paschen.

7.- Utilizando o modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio, mostre que durante a transição do estado  $n$  para o estado  $n-1$ , a frequência da luz emitida é dada por:

$$\nu = \left( \frac{me^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 4\pi\hbar^3} \right) \frac{2n-1}{n^2(n-1)^2}$$

8.- À partir do resultado acima, mostre que quando  $n$  tende ao infinito, a expressão varia com  $1/n^3$  e se reduz à frequência clássica emitida (sugestão: obtenha classicamente a frequência de revolução do elétron numa órbita circular).

9.- Mostre que no estado fundamental do átomo de hidrogênio, a velocidade do elétron pode ser escrita como  $v = \alpha c$  onde  $\alpha = (1/4\pi\epsilon_0)e^2/\hbar c \simeq 1/137$  é a constante de estrutura fina.

10.- Usando o modelo de Bohr, calcule a energia necessária para remover o elétron restante em um átomo de He ionizado.

11.- Mostre que a frequência de revolução de um elétron no modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio é dada por  $\nu = 2|E|/hn$ , onde  $E$  é a energia total do elétron.

12.- Observa-se que partículas  $\alpha$  com energia cinética 13,9 MeV ou maior, incidindo em folhas de cobre não obedecem a lei de Rutherford ( $\sim 1/\sin^4 \theta/2$ ). Estime o tamanho do núcleo de Cu à partir dessa observação, supondo que o núcleo de Cu permanece fixo na colisão com as partículas  $\alpha$ . R:  $66,0 \times 10^{-15}$  m

13.- Calcule os comprimentos de onda das três primeiras raias da série de Lyman do átomo de hidrogênio.

14.- a) Construa o diagrama de níveis de energia para o íon  $\text{He}^+$  ( $Z=2$ ). b) Qual a energia de ionização para o  $\text{He}^+$ ? R: a)  $E_n = -54,4/n^2$  eV b) 54,4 eV

15.- Qual o raio da primeira órbita de Bohr para a)  $\text{He}^+$ , b)  $\text{Li}^{2+}$  e c)  $\text{Be}^{3+}$ ? R:  $r_{\text{He}^+} = 0,0265$  nm,  $r_{\text{Li}^{2+}} = 0,0177$  nm,  $r_{\text{Be}^{3+}} = 0,0132$  nm

16.- a) Calcule o maior e menor comprimento de onda para a série de Paschen. b) Determine as energias dos fótons correspondentes. R: a)  $\lambda_{max} = 1874 \text{ nm}$   $\lambda_{min} = 820 \text{ nm}$  b)  $E_{min} = 0,663 \text{ eV}$   $E_{max} = 1,52 \text{ eV}$

17.- Um átomo de hidrogênio está em seu estado fundamental ( $n=1$ ). Usando o modelo de Bohr para o átomo, calcule a) o raio da órbita, b) o momento linear do elétron, c) o momento angular do elétron d) a energia cinética, e) a energia potencial e f) a energia total. R: a)  $0,0529 \text{ eV}$  b)  $1,99 \times 10^{-24} \text{ kg.m/s}$  c)  $1,05 \times 10^{-34} \text{ kg.m}^2/\text{s} = \hbar$  d)  $13,6 \text{ eV}$  e)  $-27,2 \text{ eV}$  f)  $-13,6 \text{ eV}$

18.- Um elétron inicialmente no estado  $n=3$  de um átomo de massa  $M$  com 1 elétron em repouso, faz transição para o estado fundamental  $n=1$ . a) Mostre que a velocidade de recuo do átomo devida à emissão do fóton é dada aproximadamente por  $v=8hR/9M$ , onde  $R$  é a constante de Rydberg. b) Calcule a porcentagem da energia de transição  $3 \rightarrow 1$  que é carregada núcleo de deutério em recuo. R: b)  $3,2 \times 10^{-8}\%$

19.- Um elétron com energia menor que  $100 \text{ eV}$  colide frontalmente (e elasticamente) com um átomo de Hg em repouso. a) Se o elétron inverte sua direção de movimento, mostre que o elétron perde apenas uma pequena fração de sua energia cinética inicial, dada por:  $\Delta E_c/E_c = 4M/[m(1 + M/m)]^2$

onde  $m$  é a massa do elétron,  $M$  a do Hg. b) Usando os valores conhecidos de  $m$  e  $M$ , mostre que  $\Delta E_c/E_c \sim 4m/M$ .

20.- Calcule o parâmetro de impacto para o espalhamento de uma partícula  $\alpha$  ( $E=7,7 \text{ MeV}$ ) por ouro em um ângulo de a)  $1^\circ$  e b)  $90^\circ$ . R: a)  $1,69 \times 10^{-12} \text{ m}$  b)  $1,48 \times 10^{-14} \text{ m}$

21.- Um feixe de partículas  $\alpha$  de  $8 \text{ MeV}$  é espalhado por uma folha fina de ouro. Qual a razão entre o número de partículas  $\alpha$  espalhadas a  $1^\circ$  e o número das espalhadas em ângulo maior que  $2^\circ$ ?

22.- Para alvos de alumínio ( $Z=13$ ) e ouro ( $Z=79$ ), qual a razão de partículas  $\alpha$  espalhadas em um ângulo qualquer, para um dado número de partículas incidentes? R:  $36,2$

23.- Em um experimento feito espalhando-se partículas  $\alpha$  de  $5,5 \text{ MeV}$  em uma folha fina de ouro, estudantes encontraram que  $10000$  partículas  $\alpha$  são espalhadas em um ângulo maior que  $50^\circ$ . a) quantas partículas  $\alpha$  serão espalhadas em ângulo maior que  $90^\circ$ ? b) quantas serão espalhadas entre  $70^\circ$  e  $80^\circ$ ? R: a)  $2170$  b)  $1347$

24.- Estudantes querem fazer um experimento usando uma fonte muito forte de partículas  $\alpha$  de  $5,5 \text{ MeV}$  que serão espalhadas por uma folha fina de ouro. Eles querem conseguir uma taxa de  $1$  partícula/s a  $50^\circ$ , mas o detector que utilizam é limitado a uma taxa máxima de  $2000$  partícula/s. O detector empregado subtende um pequeno ângulo sólido. O sistema de medidas poderá ser empregado para medir a taxa a  $6^\circ$  sem modificação?

25.- Os raios nucleares do alumínio e ouro são aproximadamente  $r=3,6 \text{ fm}$  e  $7,0 \text{ fm}$  respectivamente. Os raios do próton e da partícula  $\alpha$  são respectivamente  $1,3 \text{ fm}$  e  $2,6 \text{ fm}$ . a) Que energia de partícula  $\alpha$  seria necessário para que as superfícies nucleares se toquem em uma colisão frontal? b) Qual a energia no caso de prótons? ( calcular para alumínio e ouro) R: a) Al:  $6,04 \text{ MeV}$ , Au:  $23,7 \text{ MeV}$  b) Al:  $3,82 \text{ MeV}$ , Au:  $13,7 \text{ MeV}$

26.- Calcule a velocidade e a aceleração radial para um elétron no átomo de hidrogênio. Faça o mesmo para um átomo de  $\text{Li}^{++}$ .

27.- Calcule o momento angular em  $\text{kg.m/s}$  para a órbita eletrônica de menor energia no átomo de hidrogênio.

28.- Use os valores conhecidos de  $\epsilon_0$ ,  $h$ ,  $m$ ,  $e$  e calcule as seguintes quantidades (com 4 algarismos significativos):  $hc$ ,  $e^2/4\pi\epsilon_0$  (em  $\text{eV.nm}$ ),  $mc^2$  (keV),  $a_0$  (em nm) e  $E_0$  (em eV). R:  $1239,8 \text{ eV.nm}$ ,  $1,4400 \text{ eV.nm}$ ,  $511,00 \text{ keV}$   $5,2918 \times 10^{-2} \text{ nm}$ ,  $13,606 \text{ eV}$

29.- Um átomo de hidrogênio existe em um estado excitado por um intervalo de tempo da ordem de  $10^{-8} \text{ s}$ . Quantas revoluções faz o elétron no estado  $n=3$  antes de decair? R:  $2,44 \times 10^6$

30.- Um átomo muônico consiste de um múon ( $mc^2 = 106 \text{ MeV}$ , carga =  $-e$ ) no lugar do elétron. Para o múon no átomo de hidrogênio, calcule: a) o menor raio. b) A energia de ligação do estado fundamental. c) O comprimento de onda limite para as três primeiras séries espectrais. R: a)  $2,84 \times 10^{-13} \text{ m}$  b)  $2535 \text{ eV}$  c)  $0,49 \text{ nm}$ ,  $1,96 \text{ nm}$ ,  $4,40 \text{ nm}$