

# **TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA (LEI)**

## **Problemas Propostos para as aulas Teórico-Práticas**

**Ano Lectivo: 2011 / 2012**

***Teresa Maria Viseu***

*(última atualização – 4 de maio de 2012 – inclui os problemas P91 a P106)*

## Unidades e Análise Dimensional

**P1** – A Terra tem uma massa de  $5.98 \times 10^{24}$  kg. Admitindo que a massa média dos átomos que compõem a Terra é de 40 u ( $u = 1.66054 \times 10^{-27}$  kg e representa a chamada unidade de massa atômica), estime quantos átomos há na Terra?  $(9 \times 10^{49} \text{ átomos})$

**P2** – Considere que uma pessoa que está a fazer uma dieta para emagrecer perde 2.3 kg por semana. Exprima a massa perdida em miligramas por segundo.  $(3.8 \text{ mg/s})$

**P3** – Exprima a velocidade da luz ( $3 \times 10^8$  m/s) em microns (ou micrometros) por fentosegundo e em UA por minuto (UA  $\approx 1.50 \times 10^8$  km é a chamada unidade astronômica e representa a distância média da Terra ao Sol).  $(0.3 \mu\text{m/fs}; 0.12 \text{ UA/min})$

**P4** – Sabendo que  $R_T$  (raio da terra) =  $6.37 \times 10^6$  m, quantas voltas em torno da Terra poderia um raio de luz dar, num segundo? E que distância percorreria a luz num ano? Para além do Sol que se encontra a cerca de 8 minutos-luz da terra, a estrela mais próxima da terra fora do sistema solar encontra-se a cerca de 4.2 anos-luz de distância. Determine estas distancias em metros.  $(7.5 \text{ voltas}; 9.46 \times 10^{15} \text{ m}; \approx 1.8 \times 10^{10} \text{ m}; \approx 4 \times 10^{16} \text{ m})$

**P5** – Na América mede-se a eficiência de um carro dizendo quantas milhas consegue percorrer com um galão de gasolina (miles/gallon). Na Europa, a mesma informação é dada em termos de quantos litros de gasolina gasta para fazer 100 km (litros/100 km). Escreva uma expressão que permita fazer a conversão fácil de um sistema para o outro.  $(\text{miles/gallon} = 2.353 * 100(\text{km})/X(l))$

**P6** – Mostre que  $1 \text{ cm}^3$  de água contém  $N_A/18$  moléculas ( $N_A = 6.022136 \times 10^{23}$  é o chamado número de Avogadro).

**P7** – A força elétrica entre dois eletrões de carga  $e$  à distância  $r$  um do outro pode-se calcular por  $F = \frac{e^2}{4\pi \epsilon_0 r^2}$ . Verifique a coerência dimensional desta relação.

**P8** – Sabendo que o valor da força gravítica entre duas massas  $m_1$  e  $m_2$  à distância  $r$  é dada por  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ , determine as dimensões e as unidades SI da constante de gravitação universal,  $G$ .  $[m^3 s^{-2} kg^{-1}]$

**P9** – Determine as dimensões e as unidades SI da constante de estrutura fina ( $\alpha$ ),  $\alpha = \frac{e^2}{2 \epsilon_0 h c}$ .  $(adimensional)$

**P10** – Podemos calcular a intensidade ou irradiância ( $I$ ) duma dada radiação eletromagnética por  $I = \frac{c^2 \epsilon_0}{2} E_0 B_0 = \frac{c \epsilon_0}{2} E_0^2 = \frac{c}{2 \mu_0} B_0^2$ , onde  $E_0$  e  $B_0$  são, respetivamente, as amplitudes dos campos elétrico (em V/m) e magnético (em T) da radiação,  $c$  é a velocidade da luz no vácuo e  $\epsilon_0$  e  $\mu_0$  são, respetivamente, a permissividade e a permeabilidade do vácuo. Verifique a coerência dimensional nestas relações, sabendo que a irradiância é uma potência por unidade de área.

### ***Relatividade Restrita***

**P11** – Um nadador capaz de nadar a uma velocidade de 0.7 m/s em relação à água quer atravessar um rio de 50 m de largura e com uma corrente de 0.5 m/s.

**a)** Em que direcção deve nadar se quiser atingir a margem em frente ao ponto de partida? Qual a sua velocidade relativamente à margem? Quanto tempo demora a travessia? ( $45.6^\circ$ ;  $0.49 \text{ m/s}$ ;  $102\text{s}$ )

**b)** Em que direcção deve nadar para atravessar o rio no menor tempo possível? Qual a sua velocidade relativamente à margem? Quanto tempo demorará a travessia? A que distância a jusante atingirá a outra margem? (*perpendicularmente à margem*;  $0.86 \text{ m/s}$ ;  $71.4\text{s}$ ;  $35.7 \text{ m}$ )

**P12** – A experiência de Michelson-Morley negou a hipótese da existência do éter. Para entender o seu significado vamos analisar uma situação de relatividade clássica, ou relatividade de Galileu. Considere dois barcos que partem e regressam ao mesmo ponto da margem de um rio (A), numa zona em que a velocidade da corrente é  $V$ . Ambos os barcos se movem com a mesma velocidade  $v'$  e percorrem a mesma distância  $d$ , mas um deles (2) navega na direcção e sentida da corrente até (B) e depois regressa de (A) contra a corrente, enquanto o outro (1) atravessa o rio atingindo um ponto (C) diretamente oposto ao da partida e regressa também a (A). Compare os tempos gastos pelos dois barcos. (*se  $d = 10\text{m}$ ,  $v' = 3\text{m/s}$  e  $V = 1\text{m/s}$ ,  $\Delta t = t_2 - t_1 = 0.429\text{s}$  e  $t_2/t_1 = 1.06$* )

**P13** – Aplique o raciocínio do problema anterior ao interferómetro de Michelson usado na experiência clássica de 1881, determinando a diferença de tempo (e consequentemente de percurso ótico e de fase) que supostamente se deveria detetar entre os dois percursos, se existisse o éter e fosse válida a transformada de Galileu das velocidades.

(*Cada um dos braços do interferómetro media  $10 \text{ m}$  e a distância média da Terra ao Sol é de  $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ .*)

$$(\Delta t = dV^2/c^3 = 3.(3) \times 10^{-16} \text{ s}; \Delta L = 100 \text{ nm}; \Delta \varphi = 0.4\pi \text{ rad})$$

**P14** – Determine a contração de comprimento esperada para um corpo que se move à velocidade de **(a)**  $1\text{km/s}$  ( $5.5 \times 10^{-10} \%$ ) **(b)**  $0.9c$  ( $56.4 \%$ )

**P15** – Um foguetão afasta-se da terra à velocidade de 300 m/s. Quantos anos deverão passar para que um relógio a bordo do foguetão e outro em terra difiram de 1segundo? E se o foguetão for à velocidade de  $0.9c$ ? ( $63 \ 419.6 \text{ anos}$ ;  $0.773\text{s}$ )

**P16** – Deduza a expressão que relaciona os comprimentos de um objeto medidos em dois referenciais em movimento relativo, a partir da transformação de Lorentz.

**P17** – Deduza a expressão que relaciona os intervalos de tempo medidos em dois referenciais em movimento relativo, a partir da transformação de Lorentz.

**P18** – O neutrão é uma partícula instável que se desintegra espontaneamente transformando-se num eletrão, num próton e num neutrino, tendo um tempo de vida médio ( $\tau$ ), enquanto partícula livre em repouso, de 15 minutos.

a) Qual a velocidade média mínima com que um neutrão deve ser emitido na superfície do Sol para que atinja a superfície da Terra antes de se desintegrar? (0.486c)

b) Qual é o valor do intervalo de Lorentz, invariante espaço-tempo, entre o instante da criação e o do decaimento de um neutrão? ( $\Delta L_z = 2.7 \times 10^{11} m$ )

**P19** – O muão é uma partícula instável, cuja massa é cerca de 207 vezes a massa do eletrão, e que se forma na alta atmosfera a partir dos raios cósmicos. Desintegra-se espontaneamente noutras partículas seguindo a lei exponencial geral do decaimento radioativo,  $N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$ , onde  $\tau$  é o chamado tempo de vida médio, que para um muão em repouso é de cerca de 2.2  $\mu s$ .

a) Se ocorrer uma grande descarga de muões num dado ponto da atmosfera, ficando estes animados de uma velocidade de 0.9 c, e se apenas cerca de 1% alcançarem a superfície da Terra, qual é a altitude do lugar onde ocorreu a descarga? (cerca de 6.3 km)

b) Qual é o valor do intervalo de Lorentz, invariante espaço-tempo, entre o instante da criação e o do decaimento de um muão? ( $\Delta L_z = 660 m$ )

**P20** – Um foguetão move-se com uma velocidade de 0.9c em relação à terra. Qual deverá ser a velocidade de um segundo foguetão que pretende ultrapassar o primeiro a uma velocidade relativa de 0.5c? (0.9655c)

**P21** – Considere as seguintes duas situações:

i) Um passageiro que viaja num comboio que se desloca à velocidade de 20 m/s

ii) Um astronauta que viaja numa nave que se desloca à velocidade de 0.9c.

a) Se o passageiro/astronauta observar dois acontecimentos no mesmo ponto do comboio/nave, mas com uma diferença de 10 segundos, qual é a distância entre os dois acontecimentos para um observador em terra? (200m;  $6.19 \times 10^9 m$ )

b) Se o passageiro/astronauta observar dois acontecimentos simultâneos, mas separados por 25 metros dentro do comboio/nave, qual é a diferença entre os instantes de ocorrência dos dois acontecimentos para um observador em S (em terra). ( $\Delta t = 0$ ;  $\Delta t = 1.72 \times 10^{-7} s$ )

**P22** – Consideremos dois referenciais  $S$  e  $S'$  coincidentes no instante  $t = t' = 0$ . As coordenadas de espaço e tempo de dois acontecimentos  $A$  e  $B$ , no referencial  $S$ , são (5.0 m, 3.0 m, 0, 10 ns) e (8.0 m, 7.0 m, 0, 15 ns), respetivamente. Um observador no referencial  $S'$ , que se move em relação ao referencial  $S$  com velocidade constante na direcção e sentido do eixo  $X$ , vê os dois acontecimentos ocorrerem simultaneamente.

- a) Qual é a velocidade relativa dos dois referenciais?  $(V = 1.5 \times 10^8 \text{ m/s})$
- b) Ao fim de quanto tempo ocorrem estes dois acontecimentos no referencial  $S'$ ?  $(t' = 1.9245 \text{ ns})$
- c) Qual é a distância entre estes dois acontecimentos nos referenciais  $S$  e  $S'$ ?  $(5 \text{ m}; 4.7697 \text{ m})$

**P23** – Um retângulo tem as dimensões de 3.0 m  $\times$  2.0 m quando medido por um observador em repouso em relação a ele. Indique, justificando, com que velocidade (indicar módulo, direcção e sentido) se deve mover o observador, em relação ao retângulo, para o mesmo lhe parecer ter a forma de um quadrado.  $(0.745c)$

**P24** – Uma nave A tem dois tipos de armas: um canhão de fotões que dispara um feixe de radiação Laser e um canhão de iões que dispara iões atómicos com a velocidade de  $2.85 \times 10^8 \text{ m/s}$  em relação à nave. A nave A aproxima-se de uma nave inimiga B com uma velocidade de  $2.40 \times 10^8 \text{ m/s}$  e dispara ambas as armas.

- a) Com que velocidade os tripulantes da nave B vêem os fotões e os iões a aproximarem-se?  $(-c; 2.98 \times 10^8 \text{ m/s})$
- b) Com que velocidade os tripulantes da nave A vêem os fotões e os iões a afastarem-se da sua nave?  $(c; 2.85 \times 10^8 \text{ m/s})$

**P25** – Um núcleo move-se com a velocidade de  $0.5c$ , ao longo de uma linha recta, no referencial do laboratório. O núcleo emite um fotão (raio  $\gamma$ ). Calcule a velocidade do raio  $\gamma$ , **módulo e direcção**, medida no referencial do laboratório, sabendo que ele é emitido perpendicularmente à direcção do movimento do núcleo, quando visto por um observador em repouso no núcleo.  $(c; 60^\circ)$

**P26** – Uma nave espacial sai da Terra (evento 1) e viaja a 95% da velocidade da luz, atingindo a Próxima Centauri (evento 2), que está a 4.3 anos-luz da Terra.

- a) Quais são as separações de espaço e de tempo entre os eventos 1 e 2, medidos no referencial da Terra?  $(\Delta d = 4.3 \text{ anos-luz}; \Delta t = 4.53 \text{ anos})$
- b) Quais são as separações de espaço e de tempo entre esses eventos, no referencial da nave espacial?  $(\Delta d' = 0; \Delta t' = 1.41 \text{ anos})$

**P27** – Dois gémeos com 19 anos de idade deixam o planeta Terra e viajam para um outro planeta (P), localizado a uma distância da terra de 12 anos-luz. Considere que a terra e este planeta estão em repouso entre si. Os gémeos partem no mesmo instante, em diferentes naves espaciais. Um dos gémeos ( $G_A$ ) viaja à velocidade de  $0.900c$  e o outro ( $G_B$ ) à velocidade de  $0.500c$ .

De acordo com a teoria da relatividade restrita indique, justificando com os cálculos:

a) Com que idade cada um dos gémeos chega ao planeta (P)?

*(O  $G_B$  chega com 39.8 anos e o  $G_A$  chega com 24,8 anos)*

b) Qual é a diferença de idades entre os dois gémeos quando estes se encontram novamente no novo planeta.

*(Quando se encontram o  $G_B$  é 4,3 anos mais velho que o  $G_A$ )*

**P28** – Sabendo que a massa em repouso dum mesão é  $1.9 \times 10^{-28}$  kg, determine a energia cinética relativística, a energia total e a energia em repouso duma partícula deste tipo que se move com velocidade de  $0.999c$ .

*( $K = 2,28$  MeV;  $E_0 = 0,107$  MeV;  $E = 2,39$  MeV)*

**P29** – Um objecto de 3 kg de massa move-se 8 m ao longo do eixo dos X em 10 metros-luz, medidos no laboratório.

a) Qual a sua energia em repouso?

*( $2.7 \times 10^{17}$  J)*

c) Qual a sua energia cinética?

*( $1.8 \times 10^{17}$  J)*

a) Qual é a sua energia e o seu momento, medidos no laboratório?

*( $4.5 \times 10^{17}$  J;  $1.2 \times 10^9$  kg m s<sup>-1</sup>)*

d) Qual seria a sua energia cinética segundo a mecânica de Newton?

*( $0.864 \times 10^{17}$  J)*

**P30** – Qual é o valor máximo de  $V/c$  para o qual a energia cinética de uma partícula pode ser expressa como  $\frac{1}{2}mV^2$ , com um erro inferior a 1%?

*( $V/c = 0.115$ )*

**P31** – Obtenha as seguintes expressões:

**(a)** 
$$E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}$$

**(b)** 
$$p = mc \sqrt{\frac{1}{1 - V^2 / c^2} - 1}$$

**(c)** 
$$K = mc^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - V^2 / c^2}} - 1 \right)$$

**(d)** 
$$\frac{V}{c} = \sqrt{1 - \left( 1 + \frac{K}{mc^2} \right)^{-2}}$$

**(e)** 
$$\sqrt{1 - V^2 / c^2} = 1 + \frac{K}{mc^2}$$

**P32** – a) Qual é a velocidade a que se deslocam um eletrão e um protão, sabendo que transportam uma energia cinética de 10 MeV?

*( $0.9988c$ ;  $0.14476c$ )*

b) Qual a energia cinética que é necessário fornecer a um eletrão e a um protão para lhes comunicar uma velocidade de  $0,5c$ .

*( $0.079$  MeV;  $145.3$  MeV)*

## Ondas e REM

**P33** – Quantas ondas amarelas ( $\lambda = 579.7 \text{ nm}$ ) ocupam o espaço correspondente à espessura de uma folha de papel de  $80 \mu\text{m}$  ? Qual o espaço ocupado pelo mesmo número de ondas na gama das micro-ondas ( $f = 10 \text{ GHz}$  ;  $v = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  )? (138 ondas; 4.14 m)

**P34** – A velocidade da luz no vácuo é aproximadamente  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  . Qual o comprimento de onda de radiação vermelha de frequência  $5.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$  ? Compare este valor com o comprimento de onda de uma onda eletromagnética de  $50 \text{ Hz}$  . ( $6 \times 10^{-7} \text{ m} = 600 \text{ nm}$ ;  $6 \times 10^6 \text{ m}$ )

**P35** – Uma criança está num lago dentro de um barco de  $4.5 \text{ m}$  de comprimento. Pelo barco passam ondas que parecem não ter fim. O tempo entre dois máximos consecutivos das ondas no local onde está a criança é de  $0.5 \text{ s}$ . Cada crista das ondas demora  $1.5 \text{ s}$  a atravessar o barco de ponta a ponta. Qual é a frequência, o período e o comprimento de onda das ondas? ( $f = 2 \text{ Hz}$ ;  $v = 3.0 \text{ m/s}$ ;  $\lambda = 1.5 \text{ m}$ )

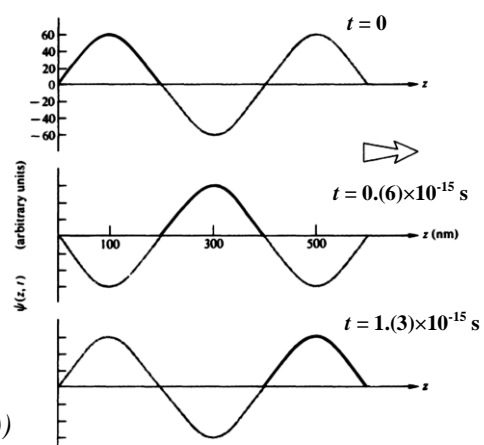
**P36** – A função de onda que descreve uma onda transversal numa corda é dada por

$$\psi(x, t) = 0.30 \sin(6.98x - 22.0t) \quad (\text{unidades SI})$$

Calcule a frequência, o comprimento de onda, o período, a amplitude, a velocidade de propagação e a direção do movimento. ( $f = 3.5 \text{ Hz}$ ;  $\lambda = 0.9 \text{ m}$ ;  $T = 0.286 \text{ s}$ ;  $A = 0.30 \text{ m}$ ;  $v = 3.15 \text{ m/s}$ ; sentido positivo do eixo dos X)

**P37** – Usando a função de onda  $\Psi = \frac{\sin(7x - 3.5t)}{2.5}$  ( $t$  em  $s$  e  $x$  em  $m$ ) determine a frequência, o comprimento de onda, a amplitude e a velocidade de propagação desta onda mecânica. ( $f = 0.557 \text{ Hz}$ ;  $\lambda = 0.8976 \text{ m}$ ;  $A = 0.4 \text{ m}$ ;  $v = 0.5 \text{ m/s}$ )

**P38** – Escreva uma expressão para a onda da figura. Calcule o seu comprimento de onda, o período, a frequência e velocidade de propagação.



( $\lambda = 400 \text{ nm}$ ;  $T = 1.3 \times 10^{-15} \text{ s}$ ;  $f = 7.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ;  $v = c$ ;  
 $\psi(z, t) = 60 \sin(kz - \omega t) = 60 \sin(2\pi(2.5 \times 10^6 z - 7.5 \times 10^{14} t))$ )

**P39** – Uma onda EM harmónica de 500 nm propaga-se no ar, ao longo do sentido positivo do eixo dos  $y$  e o seu vetor campo elétrico oscila na direção  $z$ .

a) Qual a sua frequência ?  $(f = 6.0 \times 10^{14} \text{ Hz})$

b) Calcule  $k$  e  $\omega$ .  $(k = 4.0 \times 10^6 \pi; \omega = 1.2 \times 10^{15} \pi)$

c) Calcule a amplitude do campo magnético, sabendo que a do campo elétrico é 600 V/m.  $(B_0 = 2.0 \times 10^{-6} \text{ T})$

d) Escreva expressões para os campos elétrico e magnético, sabendo que ambos são nulos para  $y = 0$  e  $t = 0$ .

$$E_z(y, t) = 600 \sin[\pi(4.0 \times 10^6 y - 1.2 \times 10^{15} t)];$$

$$B_x(y, t) = 2.0 \times 10^{-6} \sin[\pi(4.0 \times 10^6 y - 1.2 \times 10^{15} t)]$$

**P40** – Considere uma onda eletromagnética plana (no sistema SI) cujo vetor campo elétrico é dado por  $\vec{E}(x, t) = 200 \cos\left[\left(2\pi \times 10^{14}\left(t - \frac{x}{c}\right) + \frac{\pi}{2}\right)\right] \hat{j}$ .

a) Determine a amplitude, a frequência, o comprimento de onda, a velocidade e o sentido de propagação desta onda.  $(A = 200 \text{ V/m}; f = 10^{14} \text{ Hz}; \lambda = 3000 \text{ nm}; v = c; \text{sentido positivo do eixo dos } x)$

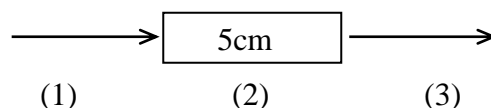
b) Determine o vetor campo magnético correspondente.  $\vec{B}(x, t) = \frac{200}{c} \cos\left[\left(2\pi \times 10^{14}\left(t - \frac{x}{c}\right) + \frac{\pi}{2}\right)\right] \hat{k}$

c) Calcule a intensidade desta radiação.  $(I = 53.1 \text{ W m}^{-2})$

**P41** – O campo elétrico da onda eletromagnética plana que atravessa, perpendicularmente, o bloco de vidro de 5cm de espessura que se mostra na figura, é da forma:

$$E_x = 0; \quad E_y = E_0 \sin\left[-10^{15} \pi \left(t - \frac{x}{0.65c}\right)\right]; \quad E_z = 0$$

quando a onda se propaga no interior do bloco de vidro, sem ser absorvida.



a) Determine a frequência, a velocidade de propagação e o comprimento de onda da radiação, no interior do bloco de vidro.  $(f = 5 \times 10^{14} \text{ Hz}, v = 0.65c \text{ m/s}, \lambda = 390 \text{ nm})$

b) Determine agora as mesmas grandezas, para a mesma radiação, mas a propagar-se fora do bloco de vidro, isto é, no ar.  $(f = 5 \times 10^{14} \text{ Hz}, v = c, \lambda = 600 \text{ nm})$

c) Calcule o percurso ótico da radiação no interior do bloco de vidro assim como o tempo que a radiação demora a atravessá-lo.  $(PO = 7.69 \text{ cm}, t = 2.564 \times 10^{-10} \text{ s})$

d) Compare a intensidade da radiação eletromagnética em (1), (2) e (3), isto é, antes de entrar, no interior e depois de sair do bloco de vidro.  $(I_1 > I_2 > I_3)$

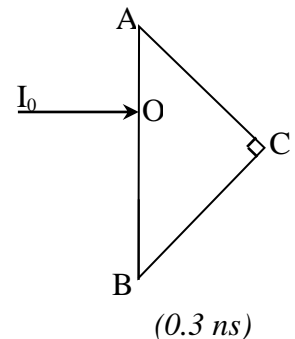
e) Calcule a transmitância entre os pontos (1) e (3), sabendo que o vidro é transparente a esta radiação.  $(T = 0.912)$



**P42** – Um feixe de radiação monocromática a propagar-se no ar incide na superfície plana de um dado material transparente, segundo um ângulo de incidência de  $58^\circ$ . Verifica-se que os feixes refletido e refratado são perpendiculares entre si.

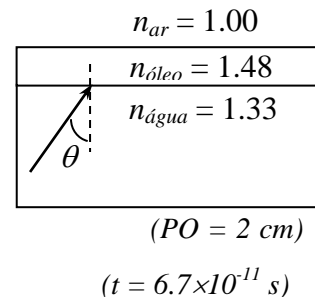
- Calcule o índice de refração deste material.  $(n = 1.60)$
- Qual é o valor do ângulo crítico para que haja reflexão interna total quando a radiação passa deste material para o ar?  $(\theta_c = 38.68^\circ)$
- Qual é a relação entre o comprimento de onda da radiação no ar e no interior do material?  $(1.60)$

**P43** – Considere a secção de um prisma que se mostra na figura junta e sobre a qual incide, num ponto O, um feixe de radiação monocromática de intensidade  $I_0$  e comprimento de onda  $\lambda = 600 \text{ nm}$ . O prisma é transparente e o seu índice de refração é  $n$  (vidro)  $= 1.50$ , sendo  $\overline{AB} = 6 \text{ cm}$ ,  $\overline{AO} = 2 \text{ cm}$  e  $\overline{AC} = \overline{BC}$ .



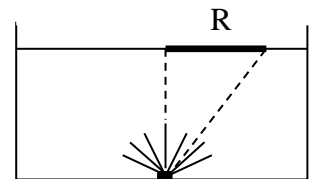
- Represente, justificando, o percurso do feixe luminoso até sair do prisma.
- Quanto tempo demora o feixe a percorrer o interior do prisma?

**P44** – Um tanque com água ( $n_{\text{água}} = 1.33$ ) tem à superfície uma camada de óleo ( $n_{\text{óleo}} = 1.48$ ) com 1 cm de espessura, acima da qual existe ar, como se mostra na figura junta.



- Qual é o menor valor do ângulo de incidência ( $\theta$ ) dum feixe de luz originado no interior do tanque, para que não passe radiação para o exterior do tanque, isto é, para o ar?  $(\theta = 48.75^\circ)$
- Calcule o percurso ótico da radiação no interior do óleo.
- Quanto tempo demora a radiação a atravessar o óleo?

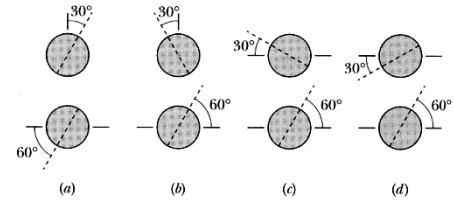
**P45** – Considere uma piscina com 5 m de largura por 5 m de comprimento e 2 m de profundidade. No fundo da piscina, no seu centro, está uma fonte luminosa que emite radiação em todas as direções. Olhando a piscina de cima observa-se uma área circular iluminada. Mostre que o raio desta área circular é  $R = 2.27 \text{ m}$ . ( $n_{\text{água}} = 4/3$ )



**P46** – Uma dada radiação eletromagnética incide sobre um polarizador. Rodando o polarizador de  $360^\circ$  verifica-se que a intensidade da radiação varia sem nunca chegar a ser nula. O que pode concluir sobre o estado de polarização da radiação?  $(\text{radiação parcialmente polarizada})$

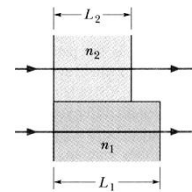
**P47** – Mostre que, quando luz natural de intensidade  $I_0$  incide sucessivamente sobre três polarizadores em que o eixo de transmissão de cada polarizador faz um ângulo de  $+60^\circ$  com o eixo de transmissão do anterior, a intensidade à saída do terceiro polarizador é  $\frac{1}{32} I_0$ .

**P48** – Considere os quatro sistemas de dois polarizadores mostrados na figura. Os eixos de transmissão de cada polarizador estão representados pelas linhas a tracejado. Considerando que incide sempre radiação não polarizada no primeiro polarizador, ordene os quatro sistemas por ordem decrescente da intensidade da radiação que transmitem.



R:  $(a) > (d) > (b) > (c)$

**P49** – Considere a situação que se mostra na figura junta em que  $L_1 = 4 \mu\text{m}$ ,  $L_2 = 3.5 \mu\text{m}$ ,  $n_1 = 1.375$  e  $n_2 = 1.6$ . As duas ondas estão inicialmente em fase e têm  $\lambda = 600\text{nm}$ . Se as ondas se encontrarem num dado ponto do espaço, que tipo de interferência produzem?



(Int. construtiva)

**P50** – Radiação de  $585 \text{ nm}$  incide perpendicularmente sobre uma bolinha de sabão ( $n = 1.33$ ) de espessura  $1.21 \mu\text{m}$ , suspensa no ar. A radiação que é refletida pelas duas superfícies da película interfere construtiva ou destrutivamente?

(Int. construtiva)

**P51** – Determine, considerando incidência normal, a espessura mínima de uma bolinha de sabão ( $n = 1.33$ ) imersa no ar, sabendo que se observa uma interferência construtiva para a radiação amarela ( $\lambda = 600 \text{ nm}$ ) refletida. Espera ver mais alguma cor, resultante da luz refletida na superfície da bolinha de sabão? Justifique. ( $d = 112.8 \text{ nm}$ ; não, próxima int. const.  $\lambda = 200\text{nm}$ )

**P52** – Um certo tipo de vidro usado em joalheria tem  $n = 1.5$ . Para o tornar mais refletor por vezes reveste-se com uma película fina de  $\text{SiO}$  ( $n = 2.0$ ). Qual é a espessura mínima necessária desta película para que radiação de  $560 \text{ nm}$  (no meio do espectro visível), incidindo perpendicularmente na superfície, seja fortemente refletida (interferência construtiva)? ( $d = 70 \text{ nm}$ )

**P53** – Considere uma dupla fenda em que a separação entre as fendas é  $d = 0.12 \text{ mm}$ . O comprimento de onda da radiação incidente é  $\lambda = 546 \text{ nm}$  e o padrão de interferência é observado num alvo que se encontra a  $55 \text{ cm}$  de distância. Determine a separação, no alvo, entre máximos adjacentes. ( $\Delta x = 2.5 \text{ mm}$ )

**P54** – Luz monocromática verde ( $\lambda = 550 \text{ nm}$ ) incide perpendicularmente sobre uma dupla fenda cuja separação entre as fendas é de  $77 \mu\text{m}$ . Determine a posição angular da franja brilhante de ordem 3. ( $\theta = 0.0214 \text{ rad} = 1.23^\circ$ )

**P55** – Radiação monocromática vermelha ( $\lambda = 640 \text{ nm}$ ) incide numa dupla fenda em que a separação entre as fendas é de  $0.2 \text{ mm}$ . O padrão de interferência observa-se num alvo a  $1 \text{ m}$  de distância. A que distância, em radianos e em milímetros, acima e abaixo do eixo central, se encontram os primeiros zeros da irradiância?  $(\pm 1.6 \text{ mm}; \pm 1.6 \times 10^{-3} \text{ rad})$

**P56** – Considere uma rede de difração de  $25.2 \text{ mm}$ , que tem  $1.26 \times 10^4$  linhas igualmente espaçadas. A rede é iluminada com a risca amarela de uma lâmpada espectral de sódio que, como sabe, é um dublete, formado por  $\lambda_1 = 589 \text{ nm}$  e  $\lambda_2 = 589.59 \text{ nm}$ .

**a)** Qual é a separação angular destas duas riscas, observadas em primeira ordem?  $(\Delta\theta = 0.0177^\circ)$

**b)** Se observarmos ordens superiores a separação angular entre as duas riscas aumenta, diminui ou mantém-se?  $(aumenta)$

**c)** Com esta rede de difração quantas ordens podem ser observadas para esta risca?  $(três)$

**P57** – Um feixe estreito de luz branca ( $400 \text{ nm} < \lambda < 750 \text{ nm}$ ) incide perpendicularmente sobre uma rede de difração. A radiação difratada é observada num alvo que se encontra a  $1.0 \text{ m}$  da rede de difração. Verifica-se que a largura do espectro difratado de primeira ordem, medida no alvo, são  $5 \text{ cm}$ .

**a)** Determine o parâmetro de rede ( $d$ ) desta rede de difração (considere a aproximação de pequenos ângulos,  $\sin\theta \approx \tan\theta \approx \theta$ ).  $(d = 7 \mu\text{m})$

**b)** Verifique que nestas condições não há sobreposição entre os espectros difratados de primeira e de segunda ordens.

## ***Física pré-quântica***

**P58** – A densidade de energia emitida por um corpo negro tem um espectro contínuo com um máximo ( $\lambda_{\max}$ ) para um dado comprimento de onda que depende da temperatura do corpo. Determine o  $\lambda_{\max}$  para  $T = 3 \text{ K}$ ,  $T = 300 \text{ K}$  e  $T = 3000 \text{ K}$ . *(0.966 mm; 9.66  $\mu\text{m}$ ; 966 nm)*

**P59**– Sabendo que a temperatura média da superfície do Sol é de, aproximadamente, 5800 K e assumindo que o Sol radia como um corpo negro, determine para que comprimento de onda o espectro solar apresenta o seu máximo de intensidade. *(499.7 nm)*

**P60** – Se a temperatura absoluta de um corpo negro for duplicada qual é o fator de aumento da potência total emitida? *(aumenta 16 vezes)*

**P61** – A radiação cósmica de fundo, recebida do espaço na superfície da Terra, situa-se na região das micro-ondas e ajusta-se à relação de Planck para um corpo negro à temperatura de 2.7K. Qual é o comprimento de onda máximo e a correspondente frequência desta radiação de fundo? Qual é a potência total incidente na Terra proveniente desta radiação de fundo? *( $R_T = 6.38 \times 10^6 \text{ m}$ )*  
*( $\lambda = 1.07 \text{ mm}$ ;  $\nu = 2.80 \times 10^{11} \text{ Hz}$ ;  $P = 1.54 \text{ GW}$ )*

**P62** – Uma lâmpada de incandescência de 40 W radia devido ao aquecimento do seu filamento à temperatura de 3300 K. Assumindo que radia como um corpo negro ideal, determine o c.d.o. ( $\lambda_{\max}$ ) e a frequência ( $\nu_{\max}$ ) onde o espectro de energia radiada apresenta o seu máximo. Usando  $\nu_{\max}$  como uma estimativa da frequência média dos fótons emitidos pela lâmpada, estime o número de fótons emitidos por segundo. *( $\lambda = 878.2 \text{ nm}$ ;  $\nu = 3.42 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ;  $1.77 \times 10^{20} \text{ fótons/s}$ )*

**P63** – Quando se ilumina uma placa de sódio com luz de comprimento de onda  $\lambda = 420 \text{ nm}$ , o potencial de corte dos fotoelétrons é de 0.65 V; se o comprimento de onda for de 310 nm, o potencial de travagem passa a ser de 1.69 V. Usando apenas estes dados e os valores da velocidade da luz e da carga do elétron, determine o trabalho de extração do sódio e o valor da constante de Planck. *( $\phi = 2.28 \text{ eV}$ ;  $h = 6.565 \times 10^{-34} \text{ Js}$ )*

**P64** – As películas fotográficas a preto e branco têm de ser expostas a uma radiação suficientemente energética para dissociar as moléculas de AgBr contidas na emulsão fotossensível. Sabendo que a energia mínima necessária são 0.68 eV determine o comprimento de onda máximo acima do qual a película não é fotossensibilizada. Em que região espectral se situa este comprimento de onda? Comente. *( $\lambda = 1827 \text{ nm} - IV$ )*

**P65** – Sabendo que o maior comprimento de onda da radiação que ainda provoca emissão de fotoelétrons numa placa de cézio é 653 nm, determine o trabalho de extração do cézio. Se

radiação de 300 nm (ultra-violeta) incidir sobre a placa de césio, qual será a energia cinética com que os elétrons são ejetados? Qual será o potencial de travagem se usarmos radiação de 450 nm?

$$(\phi = 1.90 \text{ eV}; E_c = 2.236 \text{ eV}; V_0 = 0.857 \text{ V})$$

**P66** – Sabendo que o trabalho de extração do molibdénio é de 4.22 eV, determine a menor frequência da radiação incidente neste metal, que ainda é capaz de produzir fotoelétrons. Verifique se radiação incidente de 560 nm (amarela) produz efeito fotoelétrico neste metal.

$$(v_{\min} = 1.02 \times 10^{15} \text{ Hz}; \text{ não porque } h\nu < \phi)$$

**P67** – Considere uma lâmpada de incandescência de 100 W e admita que apenas 5% da potência total emitida está na região do visível (considere o c.d.o. médio do visível,  $\lambda = 550 \text{ nm}$ ).

a) Determine o número de fótons do visível emitidos por segundo.  $(1.38 \times 10^{19} \text{ fótons/s})$

b) Admitindo que a lâmpada é uma fonte pontual que emite isotropicamente em todas as direções do espaço, qual é o fluxo de fótons (número de fótons por unidade de área e por unidade de tempo) a uma distância de 2 m da fonte?  $(2.75 \times 10^{17} \text{ fótons/m}^2 \cdot \text{s})$

**P68** – O olho humano é muito sensível conseguindo detetar quantidades de energia muito pequenas. Em condições ideais consegue detetar um feixe com apenas 60 fótons! Se estes fótons tiverem comprimento de onda de 550 nm, qual é a energia mínima que consegue ser detetada pela córnea?  $(2.17 \times 10^{-17} \text{ J})$

**P69** – A transição do primeiro estado excitado para o estado fundamental no átomo de potássio dá origem à emissão de um fóton de comprimento de onda  $\lambda = 770 \text{ nm}$ . Considere a experiência de Franck-Hertz em que a ampola contém vapor de potássio a baixa pressão. Para que valor de potencial acelerador espera observar a primeira queda abrupta de corrente? Nesse instante de que cor ficará a ampola?  $(\Delta V = 1.61 \text{ V}; \text{ vermelha})$

**P70** – Os tubos de raios-X habitualmente usados pelos dentistas têm potenciais de aceleração de 80 kV. Qual é o c.d.o. mínimo dos raios-X produzidos por estes tubos?  $(\lambda_{\min} = 0.0155 \text{ nm} - \text{RX})$

**P71** – Um feixe de raios X, com o comprimento de onda de  $0.8560 \text{ \AA}$ , é difundido por elétrons livres de um alvo de carbono. A radiação sofre difusão de Compton e é vista a  $90^\circ$  do feixe incidente. Qual é a percentagem de variação do comprimento de onda dos fótons difundidos relativamente aos incidentes?  $(2.8 \%)$

**P72** – Um dado feixe de radiação é difundido por elétrons livres de um alvo de carbono e verifica-se que, para um dado ângulo de difusão, o desvio entre o comprimento de onda dos fótons difundidos e o dos fótons incidentes é de 0.29 pm. Determine o ângulo de difusão.  $(\theta = 28.3^\circ)$

**P73** – Um dado feixe de radiação é difundido por eletrões livres de um alvo de carbono e os fotões difundidos são detetados para  $\theta = 90^\circ$ . Verifica-se que  $\Delta\lambda/\lambda$  é de 1%. Determine o comprimento de onda da radiação incidente. ( $\lambda = 2.42 \text{ \AA}$ )

**P74** – Como sabe, no efeito de Compton fotões incidentes são difundidos por eletrões livres em todas as direções. Qual é a percentagem máxima de energia que um fotão de 2 MeV pode perder, ao ser difundido por um electrão livre em repouso? (88.6 %)

**P75** – Sabendo que o comprimento de onda da primeira risca da série de Lyman é  $1215 \text{ \AA}$ , determine o valor da constante de Rydberg. ( $R = 1.0974 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ )

**P76** – Um átomo de hidrogénio encontra-se num estado excitado, tal que a sua energia de ligação é  $-0.85 \text{ eV}$ .

a) Qual é o número quântico  $n$  correspondente a esse estado? ( $n = 4$ )

b) Calcule o comprimento de onda do fotão emitido quando o átomo passa ao estado fundamental. ( $\lambda = 97.2 \text{ nm}$ )

**P77** – Considerando o tempo de vida médio de um estado excitado igual a  $10^{-8} \text{ s}$ , determine o número de revoluções que um eletrão dum átomo de hidrogénio no estado  $n = 2$ , executa antes de passar ao estado  $n = 1$ . ( $8.2 \times 10^6 \text{ voltas}$ )

**P78** – No espectro de absorção do átomo hidrogenóide  $\text{Li}^{2+}$ , o menor comprimento de onda de uma das séries espectrais é  $162.1 \text{ nm}$ . Indique, justificando, a qual das séries espectrais corresponde este comprimento de onda. ( $n = 4$ , série de Brackett)

**P79** – Um átomo de Li ( $Z = 3$ ) ioniza-se perdendo dois dos seus eletrões e transformando-se no ião  $\text{Li}^{2+}$ .

a) Calcule o potencial de ionização deste ião. ( $E_I = -122.22 \text{ eV}$ ,  $E_{ion} = 122.22 \text{ eV}$ )

b) Calcule a energia da radiação emitida na transição de  $n = 2$  para  $n = 1$ . ( $\Delta E = 91.7 \text{ eV}$ )

c) Determine o valor da constante de Rydberg para este ião. ( $R = 9.873 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ )

**P80** – Uma certa espécie de átomos hidrogenóides produz um espectro de absorção de riscas, de acordo com o modelo atómico de Bohr. Os comprimentos de onda máximo e mínimo de uma das suas séries espectrais são  $41.02 \text{ nm}$  e  $22.79 \text{ nm}$ , respetivamente. Calcule o número atómico destes iões, o valor da correspondente constante de Rydberg e os números quânticos principais dos estados inicial e final correspondentes à transição eletrónica que dá origem à absorção de radiação com o comprimento de onda máximo. ( $Z = 4$ ;  $R = 1.755 \times 10^8 \text{ m}^{-1}$ ;  $n = 2$ ,  $n+1 = 3$ )

**P81** – Considere um sistema formado por um próton e um anti-próton. Usando o modelo atômico de Bohr, calcule:

a) O menor raio permitido.

$$(r_1 = 5.76 \times 10^{-14} \text{ m})$$

b) A energia deste sistema atômico no estado fundamental.

$$(E_1 = -2.0 \times 10^{-15} \text{ J} = -12.5 \text{ keV})$$

c) O comprimento de onda da transição  $n = 30 \rightarrow n = 1$ . Que tipo de radiação é emitida nesta transição?

$$(\lambda = 9.95 \times 10^{-11} \text{ m} = 0.0995 \text{ nm, RX})$$

**P82** – Determine o raio da 1ª órbita de Bohr, a energia de ligação e o comprimento de onda da primeira risca da série de Lyman de um átomo de hidrogénio em que o elétron foi substituído por um méson  $\mu^-$ , cuja massa é 207 vezes a massa do elétron.

$$(r_1 = 2.84 \times 10^{-13} \text{ m}; E_1 = -2.53 \text{ keV}; \lambda = 6.53 \times 10^{-10} \text{ m})$$

**P83** – No microscópio eletrónico elétrons acelerados incidem nos materiais a estudar. Numa dada experiência verifica-se que os elétrons acelerados têm um comprimento de onda de de Broglie de 0.04 nm. Qual é o potencial acelerador dos elétrons? (Verifique que pode desprezar a correção relativística)

$$(\Delta V = 940 \text{ V})$$

**P84** – Calcule o comprimento de onda de de Broglie de (a) um elétron, (b) um próton, (c) uma partícula  $\alpha$ , com energia cinética de 4.5 keV. (Verifique se pode desprezar a correção relativística)

$$(\lambda_e = 0.01828 \text{ nm (s/ correção)}, 0.01824 \text{ nm (c/ correção)}; \lambda_p = 4.27 \times 10^{-4} \text{ nm}; \lambda_\alpha = 2.14 \times 10^{-4} \text{ nm})$$

**P85** – Calcule o comprimento de onda de de Broglie de um próton dum raio cósmico cuja energia cinética seja, (a) 2 GeV, (b) 200 GeV (Verifique que não pode desprezar a correção relativística).

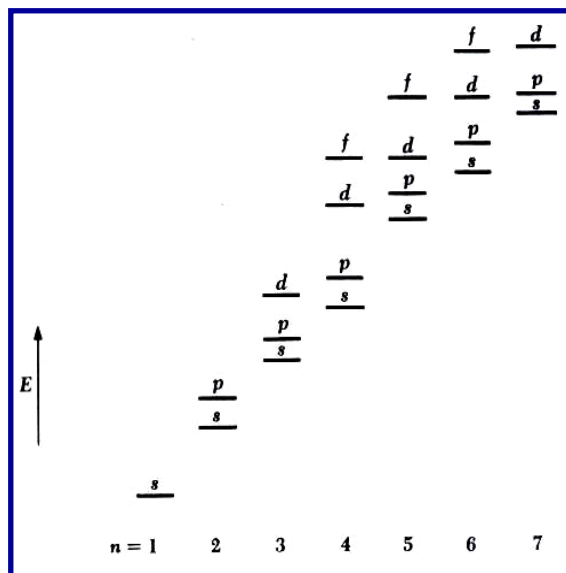
$$(a) \lambda_p = 4.45 \times 10^{-16} \text{ m} = 0.445 \text{ fm}; b) \lambda_p = 6.18 \times 10^{-18} \text{ m} = 0.00618 \text{ fm})$$

## Física quântica

**P86** – Nos átomos polieletrônicos os electrões distribuem-se pelos diversos estados quânticos, caracterizados pelos números quânticos ( $n, \ell, m_\ell$ ).

Estes estados são preenchidos por ordem crescente de energia (princípio da energia mínima) e apenas podem existir dois electrões por cada estado (princípio de exclusão de Pauli). Embora haja exceções, a ordem energética para o preenchimento dos diversos estados é a que se mostra na figura junta. Os estados quânticos com  $\ell = 0$  designam-se por  $s$ , com  $\ell = 1$ , por  $p$ , com  $\ell = 2$  por  $d$ , com  $\ell = 3$  por  $f$ ,...

Escreva a configuração eletrónica do estado fundamental dos seguintes átomos: berílio ( $Z=4$ ), carbono ( $Z=6$ ), sódio ( $Z=11$ ), árgon ( $Z=18$ ), cálcio ( $Z=20$ ), ferro ( $Z=26$ ), estanho ( $Z=50$ ), mercúrio ( $Z=80$ ).



**P87** – Considere uma lâmpada espectral de hidrogénio. Verifique em que regiões espectrais se encontram as radiações emitidas correspondentes respetivamente às séries de Lyman, de Balmer e de Paschen (calcule o maior e o menor comprimento de onda de cada uma destas séries).

**P88** – Considere uma lâmpada espectral de hidrogénio. Quando se “liga” a lâmpada atinge-se um estado estacionário em que se promovem electrões para os diversos estados excitados e em que estes se desexcitam emitindo radiação quando transitam sucessivamente para os diversos níveis de menores energias, até atingirem o estado fundamental. Sabendo que, dentro de uma série espectral, a transição mais intensa é a de menor energia, de que cor espera ver a ampola?

**P89** – Considere uma cartolina opaca que, quando iluminada por luz branca, se apresenta fortemente corada. O corante que lhe confere esta cor tem duas bandas de absorção intensas, uma centrada na região dos 380 nm e outra na região dos 550 nm. De que cor é esta cartolina?

**P90** – Considere uma molécula diatómica. Admita que do ponto de vista dos seus movimentos de vibração ela se comporta como um oscilador harmónico linear, com uma constante elástica  $k = 200 \text{ N/m}$  e vibrando com uma frequência  $\nu = 2.0 \times 10^{13} \text{ Hz}$ . A constante rotacional para esta molécula é  $B = \hbar^2 / 2I = 3.64 \times 10^{-23} \text{ J}$  sendo  $I$  o momento de inércia dado por  $I = \mu r_0^2$ .

a) Calcule a energia do primeiro nível vibracional ( $\nu = 0$ ) desta molécula. ( $E_{\nu=0} = 6.626 \times 10^{-21} \text{ J}$ )

b) Qual é o nível rotacional isoenergético do 1º nível vibracional? ( $\ell = 13$ )

c) Calcule o momento de inércia e a massa reduzida da molécula. ( $I = 1.53 \times 10^{-46} \text{ kg m}^2$ ;  $\mu = 1.27 \times 10^{-26} \text{ kg}$ )

d) Calcule a distância internuclear de equilíbrio desta molécula. ( $r_0 = 1.1 \times 10^{-10} \text{ m}$ )



## *Física Nuclear*

**P91** – Determine o número de massa e o número atômico de um nuclídeo, sabendo que o resultado da sua desintegração  $\alpha$  é igual ao nuclídeo resultante da desintegração  $\beta^-$  do  $^{208}_{81}\text{Th}$ . ( $^{212}_{84}\text{Po}$ )

**P92** – Considerando que o boro natural é uma mistura, apenas, dos isótopos  $^{10}_5\text{B}$  e  $^{11}_5\text{B}$  e que tem uma massa de 10.82u, determine a percentagem de cada isótopo numa amostra de boro natural.  
Dados:  $m(^{10}_5\text{B}) = 10.013\text{u}$  e  $m(^{11}_5\text{B}) = 11.009\text{u}$  ( $^{10}_5\text{B} \approx 19\%$ ;  $^{11}_5\text{B} \approx 81\%$ )

**P93** – A energia de ligação do  $^{35}_{17}\text{Cl}$  é de 298 MeV. Calcule a sua massa em unidades de massa atômica.  
( $m(^{35}_{17}\text{Cl}) = 34.969\text{u}$ )

**P94** – Na série radioativa do urânio, o isótopo  $^{238}_{92}\text{U}$  (massa atômica = 238.0508 u) converte-se, por desintegração  $\alpha$ , no isótopo do tório  $^{234}_{90}\text{Th}$  (massa atômica = 234.0436 u). A massa atômica da partícula  $\alpha$  é 4.0026 u.

a) Mostre que a energia libertada na desintegração  $\alpha$  do isótopo  $^{238}_{92}\text{U}$  é 4.3 MeV.

b) Calcule a energia de ligação por nucleão do  $^{238}_{92}\text{U}$ . ( $E_{\text{lig}}/A = 7.58 \text{ MeV}$ )

**P95** – Calcule a energia que é necessário fornecer para decompor 2g de  $^{40}_{20}\text{Ca}$  (massa atômica = 39.962591u) nos seus nucleões constituintes.  
( $\Delta E \sim 1.65 \times 10^{12} \text{ J} \sim 10^{31} \text{ eV}$ )

**P96** – Num túmulo egípcio encontrou-se um papiro cuja idade se pretende determinar. Para isso colheu-se um caule de flor de Lótus, do delta do rio Nilo, e com ele fabricou-se um papiro de dimensões idênticas ao encontrado. Com um contador de Geiger verificou-se que este registava 20 contagens por minuto devido à desintegração  $\beta$  do  $^{14}_6\text{C}$  no papiro recém fabricado, enquanto que o papiro antigo só registava 12 contagens por minuto.

a) Sabendo que o período de meia vida do  $^{14}_6\text{C}$  é 5730 anos, qual é a idade do papiro encontrado?  
(4223 anos)

b) Escreva a equação que representa a desintegração radioativa do  $^{14}_6\text{C}$ .

**P97** – O carvão proveniente de um incêndio numa floresta tem uma atividade de 12.9 desintegrações por minuto e por grama de carvão, proveniente do  $^{14}\text{C}$ . A atividade do  $^{14}\text{C}$  em madeira proveniente de árvores vivas é aproximadamente independente da espécie da árvore e é, em média, de 15.3 desintegrações por minuto e por grama de madeira (considere que 1g de madeira deu origem a 1g de carvão). O tempo de meia vida do isótopo  $^{14}\text{C}$  é de 5730 anos. Usando estes dados determine há quantos anos ocorreu esse incêndio.  
(1410.5 anos)

**P98** – Uma mesma quantidade de um isótopo radioativo é entregue num hospital no mesmo dia e hora de cada semana. Um médico encontra um frasco aberto do referido isótopo, sem a etiqueta de chegada. Coloca-o em frente a um detetor de Geiger, que regista  $4.3 \times 10^3$  contagens por minuto. Substituindo este frasco por outro acabado de chegar, obtém-se  $47 \times 10^3$  contagens por minuto. Sabendo que o período de meia vida do isótopo radioativo é de 8 dias, determine há quanto tempo estava no hospital o isótopo encontrado sem rótulo. *(27.6 dias)*

**P99** – O plutónio  $^{239}_{94}\text{Pu}$  sofre desintegração radioativa com um tempo de meia vida de 24000 anos. Se o plutónio for guardado durante 73200 anos, qual é a fração de plutónio que permanece radioativa? *(12.07 %)*

**P100** – Considere uma placa de alumínio com 1 mm de espessura e um pedaço de tecido humano com 2 mm de espessura. Para um determinado feixe de raios  $\gamma$ , os coeficientes de atenuação linear do alumínio e do tecido humano são, respetivamente,  $0.435 \text{ cm}^{-1}$  e  $7 \text{ m}^{-1}$ . Determine a fração de radiação transmitida pela placa de alumínio e a fração transmitida pelo tecido humano. *( $f_{\text{Al}} = 0.957$ ;  $f_{\text{tecido}} = 0.986$ )*

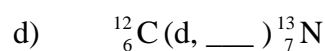
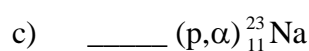
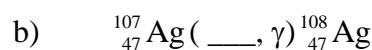
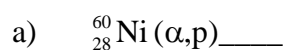
**P101** – Considere uma placa de chumbo de 5mm e uma parede de betão de 30cm. Verifica-se que, para uma dada radiação, a fração de radiação transmitida pela placa de chumbo é um milhão de vezes menor que a transmitida pela parede. Determine o coeficiente de atenuação linear do betão sabendo o coeficiente de atenuação linear do chumbo,  $\mu_{\text{Pb}}$ , é de  $60 \text{ cm}^{-1}$ . *( $\mu_{\text{betão}} = 0.54 \text{ cm}^{-1}$ )*

**P102** – Durante um exame radiológico com partículas  $\alpha$  (fator de qualidade 20) são emitidas  $8 \times 10^7$  partículas, cada uma com a energia de 0.45 MeV. Um técnico de radiologia com 82 kg de massa, realiza por dia 30 exames, trabalhando 11 meses por ano, a uma média de 22 dias úteis por mês. O seu superior propôs-lhe um aumento de salário considerável, se ele aceitar realizar por dia 60 exames. Considerando que o limite máximo permissível para trabalhadores expostos é, em média, de 20 mSv/ano, acha que ele deve aceitar a proposta? Justifique.

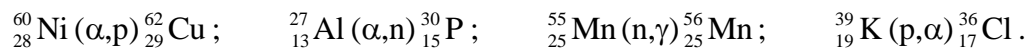
*(Não porque fica mesmo no limite máximo)*

**P103** – Para exposições do corpo inteiro à radiação, o limite máximo permissível para o público em geral é de 1 mSv/ano. Uma pessoa de 60 kg teve que realizar, no mesmo ano, 95 exames radiológicos. Em cada exame foram utilizadas  $3 \times 10^8$  partículas  $\alpha$  (fator de qualidade 20), com a energia de 0.36 MeV cada uma. Indique, justificando, se os exames radiológicos foram prejudiciais para a pessoa que os realizou. *(Não. Recebeu apenas 0.55 mSv/ano)*

**P104** – Complete as seguintes reações nucleares:



**P105** – Indique, justificando, quais das seguintes reações nucleares não são permitidas



**P106** – Durante uma reação nuclear, uma partícula  $\alpha$  é absorvida pelo núcleo  ${}_{7}^{14}\text{N}$  (massa atômica = 14.00307 u) e os produtos da reação são  ${}_{8}^{17}\text{O}$  (massa atômica = 16.99913 u) e um próton (massa atômica = 1.0078 u). Diga quais os requisitos energéticos para que esta reação nuclear ocorra.  
(É necessário fornecer 1.18 MeV)