P3 DIURNO

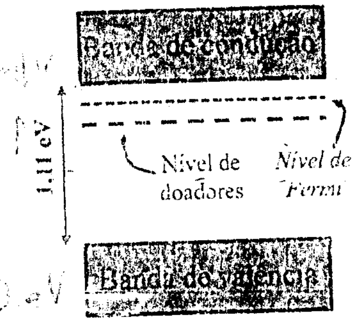
1. A dopagem de semicondutores muda a posição do nível de Fermi. O *Si* é um semicondutor que tem uma separação em energia de *1.11 eV* entre o mínimo da banda de condução e o máximo da banda de valência. O nível de Fermi do *Si* puro fica aproximadamente no meio entre as duas bandas. Suponha que o *Si* seja dopado com átomos doadores que introduzam um estado *0.15 eV* abaixo da banda de condução. Suponha ainda que a dopagem mude o nível de Fermi para *0.10 eV* abaixo da banda de condução.

a) Calcule a probabilidade de que o estado de menor energia da banda de condução seja ocupado:

i) antes da dopagem;

ii) depois da dopagem;

b) Calcule a probabilidade de que o nível introduzido pelo doador esteja ocupado depois da dopagem.



$KT = 8{,}625 \times 10^{-5} \times 300\ eV$

$KT = 0{,}026\ eV$

a) i) $E_F = E_g/2$

0,5

$$P(E_c) = \frac{1}{e^{\frac{E_g}{2KT}} + 1}$$

$$P(E_c) = \frac{1}{e^{\frac{1,1}{2 \times 0,026}} + 1} = 6,5 \times 10^{10}$$

ii) $E_F = E_c - 0{,}10\ eV$

1,0

$$P(E_c) = \frac{1}{e^{(E_c - (E_c - 0,10)/0,026} + 1} = 2,1 \times 10^{-2} = 2,1\%$$

b) $E_F = E_c - 0{,}10\ eV \qquad E_D = E_c - 0{,}15\ eV$

$E_D - E_F = E_c - 0{,}15 - E_c + 0{,}10 = -0{,}05\ eV$

1,0

$$P(E_D) = \frac{1}{e^{\frac{-0,05}{0,026}} + 1} = 0,87 = 87\%$$

DIURNO

2. Considere os decaimentos: $^{223}_{88}Ra \rightarrow ^{209}_{82}Pb + ^{14}_{6}C$ $\quad ^{223}_{88}Ra \rightarrow ^{219}_{86}Rn + ^{4}_{2}He$

a) Calcule o valor de Q para os dois processos acima e determine se eles são ou não energeticamente possíveis.

b) A primeira amostra de Ra foi obtida por Marie e Pierre Curie em 1902. Eles conseguiram extrair de um minério 100 mg de $RaCl_2$ na forma do isótopo radioativo ^{226}Ra, com meia-vida de 1600 anos. Determine a taxa de decaimento desta amostra em desintegrações por segundo:

i) na época em que o casal Curie extraiu a amostra.

ii) atualmente.

Massas atômicas: $^{226}_{88}Ra$....226.025402 u, $^{223}_{88}Ra$....223.01850 u. $^{219}_{86}Rn$....219.00948 u. $^{209}_{82}Pb$....208.98107 u. $^{14}_{6}C$....14.003244 u. $^{14}_{6}C$....14.003244 u. $^{4}_{2}He$....4.00260 u; Massa atômica média dos isótopos de Cl....35.453 u

a) $^{223}_{88}Ra \rightarrow ^{209}_{82}Pb + ^{14}_{6}C$

1,0 $Q = -(208,98107 + 14,003244 - 223,01850) \times 931,494013$ MeV

$Q = +31,8$ MeV $> 0 \rightarrow$ energeticamente possível

$^{223}_{88}Ra \rightarrow ^{219}_{86}Rn + ^{4}_{2}He$

$Q = -(219,00948 + 4,00260 - 223,01850) \times 931,494013$ MeV

$Q = +5,98$ MeV $> 0 \rightarrow$ energeticamente possível

b) $N_{Ra_0} = \dfrac{100 \times 10^{-3} \times 6,02 \times 10^{23}}{(226,025402 + 2 \times 35,453)} = 2,03 \times 10^{20}$ átomos

0,5 i) $R_0 = \lambda N_{Ra_0} = \dfrac{\ln 2 \; N_{Ra_0}}{T_{1/2}} = \dfrac{\ln 2 \times 2,03 \times 10^{20}}{1600 \times 3600 \times 24 \times 365} =$

$R_0 = 2,79 \times 10^{9}$ desint/seg

1,0 ii) $R = R_0 e^{-\lambda \Delta t}$ $\quad \Delta t = 108$ a.

$R = 2,79 \times 10^{9} \times \exp\left[-\dfrac{\ln 2 \times 108}{1600}\right]$

$R = 2,66 \times 10^{9}$ desint/seg

DIURNO

3. Considere a reação de fusão do deuteron-tríton: $^{2}H + {}^{3}H \to {}^{4}He + n$

Suponha que as partículas do lado esquerdo da equação estão em repouso.

Massas atômicas: ^{2}H....2,014102 *u*, ^{3}H....3,016049 *u*, ^{4}He....4,002603 *u*, *n*....1,00866 *u*.

a) Determine o valor de Q deste processo de fusão.

Considere um reator de fusão baseado neste processo funcionando com uma potência constante de *3000 MW*.

b) Determine a taxa de "queima" de deuterons em *g/hora*.

c) Quantos nêutrons seriam emitidos pelo reator em *1 dia* de funcionamento?

a) $Q = -(4,002603 + 1,00866 - 2,014102 - 3,016049) \times 931,494013$ MeV

0,5

$Q = 0,018888 \times 931,494013 = 17,6$ MeV

b) $P = \frac{dE}{dt} = \left(\frac{\Delta E}{\Delta m}\right)_{^2H} \left(\frac{dm}{dt}\right)_{^2H} \therefore \left(\frac{\Delta E}{\Delta m}\right)_{^2H} = \frac{Q}{m_{^2H}}$

1,0

$\left(\frac{dm}{dt}\right) = \frac{P \cdot m_{^2H}}{Q} = \frac{3\times10^{9}(W) \times 2,014102 \times 1,66053886\times10^{-27} (kg)}{17,6\times10^{6}\times1,60\times10^{-19} (J)}$

$\left(\frac{dm}{dt}\right) = 3,56 \frac{kg}{s} = 3,56\times10^{3}\times 3600 \frac{g}{h} = 12,8$ g/hora

c) $P = \left(\frac{\Delta E}{\Delta N_n}\right)\left(\frac{dN}{dt}\right)_n \qquad \frac{\Delta E}{\Delta N_n} = \frac{Q}{1} = Q$

1,0

$\frac{dN_n}{dt} = \frac{P}{Q} = \frac{3\times10^{9}}{17,6\times10^{6}\times1,60\times10^{-19}}$ seg^{-1}

$\frac{dN_n}{dt} = 1,065\times10^{21}$ seg^{-1}

$\Delta N_{n_{1dia}} = \left(\frac{dN_n}{dt}\right) \times \Delta t_{1dia} = 1,065\times10^{21} \times 3600 \times 24$

$\Delta N_{n_{1dia}} = 9,20\times10^{25}$ neutrons

DIURNO

4. Uma partícula desconhecida X em repouso decai através da reação $X \rightarrow K^{+} + K^{-}$, onde K^{-} é a antipartícula da partícula K^{+}, cuja massa é igual a $493,7\ MeV/c^2$.

a) Qual é a carga da partícula X?
b) A partícula X é um hádron ou um lépton?
c) A partícula X é um bóson ou um férmion?
d) Determine a massa da partícula X se o momento da partícula K é $126,7\ MeV/c$.
e) Determine a energia de desintegração, Q, dessa reação.

$$X \rightarrow K^{+} + K^{-}$$

0,2 a) $Q_X = Q_{K+} + Q_{K-} = +1 - 1 = 0$

0,4 b) $L_{e,\mu,\tau\ X} = 0 + 0 = 0$ Não é Lepton → É hadron

0,4 c) $s_X = 0 + 0 = 0$ É Boson

0,8 d) $p_{K+} = p_{K-} = 126,7\ \frac{MeV}{c} = p_K$; $m_{K+} = m_{K-} = 493,7\ \frac{MeV}{c^2} = m_K$

$E_{K+}^2 = E_{K-}^2 = (p_K c)^2 + (m_K c^2)^2 = E_K$; $p_X = 0$

$E_X = 2E_K = 2\sqrt{(p_K c)^2 + (m_K c^2)^2}$

$E_X = m_X c^2 = 2\sqrt{126,7^2 + 493,7^2}$ MeV

$Q = -\Delta m c^2$

$m_X c^2 = 1019,4$ MeV

$m_X = 1019,4\ MeV/c^2 = \frac{1019,4}{931,494013}\ u = 1,094371\ u$

0,7 e) $Q = -(2m_K - m_X)c^2 = m_X c^2 - 2m_K c^2$

$Q = 1019,4 - 2 \times 493,7 = 32,0$ MeV