PROBLEMAS RESOLVIDOS SOBRE *DECAIMENTO RADIOATIVO*

1. A meia-vida de um dado isótopo radioativo é de 6,5 horas. Se existirem inicialmente 48 x 10^{19} átomos deste isótopo, *quantos átomos deste isótopo restarão após 26 horas*?

SOLUÇÃO

τ= 6,5 horas N_0 = 48 10^{19} átomos N = ? t = 26 horas

$\tau = (0,693)/\lambda \Rightarrow \lambda = (0,69315)/\tau = (0,69315)/6,5 = 0,1067\ h^{-1}$.

$$N = N_0\ e^{-\lambda t} = 48\ 10^{19}\ e^{-(0,1067)\ 26} = 2,995\ 10^{19}\ \text{átomos}$$

Ou seja,

$$\frac{N}{N_0} = \frac{3x10^{19}}{48x10^{19}} = \frac{1}{16} = 0,0625$$ ou ainda **6,25% dos átomos iniciais**

---

2. A meia-vida de um isótopo radioativo é de 140 dias. *Quantos dias* seriam necessários para que a atividade **A** de uma amostra deste isótopo caísse a um quarto de sua taxa inicial de decaimento?

SOLUÇÃO

τ = 140 dias

$\tau = (0.693)/\lambda \Rightarrow \lambda = (0,69315)/\tau = (0,69315)/140 = 4,95\ 10^{-3}\ \text{dias}^{-1}$

$(1/4)A_0 = A_0\ e^{-\lambda t} \Rightarrow (1/4) = e^{-\lambda t} \Rightarrow \ln(1/4) = -\lambda t$

$-1,3863 = -\ 4,95\ 10^{-3}\ t \Rightarrow t = 0,280\ 10^{3}$ dias ou **t = 280 dias**

---

3. O oxigênio radioativo $^{15}_{8}O$ tem uma meia-vida de 2,1 minutos.
   a. Quanto vale a constante de decaimento radioativo λ ?
   b. Quantos átomos radioativos existem numa amostra com uma atividade de 4 mCi ?
   c. Qual o tempo necessário para que a atividade seja reduzida por um fator 8?

SOLUÇÃO

a. τ = 2,1 min = 126 s

$\lambda\ .\ \tau = \ln 2 \Rightarrow \lambda\ .\ 126 = 0,693 \Rightarrow \lambda = 0,693/126 = 0,0055\ s^{-1}$

$\lambda = 5,5\ .\ 10^{-3}\ s^{-1}$

b. N = ? A = 4 mCi

$A = \lambda N \Rightarrow 4\ .\ 10^{-3}\ .\ 3,7\ .\ 10^{10} = 0,0055\ .\ N$

$N = (4\ .\ 3,7\ .\ 10^{7})/0,0055 = 2690,91\ .\ 10^{7}$ desintegrações

$N = 2,69\ .\ 10^{10}$ desintegrações

c. $A = (1/8)\ A_0$

$(1/8)A_0 = A_0\ e^{-\lambda . t} \Rightarrow (1/8) = e^{-\lambda\ .\ t} \Rightarrow \ln(1/8) = -\lambda\ .\ t$

$-2,0794 = -\ \lambda\ .t \Rightarrow t = (2,0974/0,0055) = 378,08$ s

---

4. Calcular a *taxa de desintegração* num organismo vivo, por grama de carbono, admitindo que a razão $^{14}C/^{12}C$ seja 1,3 x 10^{-12}.

SOLUÇÃO

ln 2 = 0.693

$\lambda = (\ln 2)/\tau = (0,693)/\tau$

O número N de núcleos de ^{12}C em 1 g de carbono é:

$6,02\ 10^{23}$ (núcleos/mol) $\rightarrow$ 12 g/mol

N $\rightarrow$ 1 g $\Rightarrow N = (6,02\ 10^{23})/12 =$

$5,02\ 10^{22}$ núcleos/g

O número de núcleos de ^{14}C radioativo é então igual a razão $1,3\ 10^{-12}$ vezes N, ou seja,

$5,02\ 10^{22}$ (núcleos/g) x $1,3\ 10^{-12} = 6,526\ 10^{10}$ núcleos/g

A atividade por grama, será

$$A = \frac{0.693}{5730\,anos} x 6{,}526 x 10^{10} = 7{,}893 x 10^{6}\ desintegracoes/ano$$

1 ano = $3,16\ 10^{7}$ s = $0,053\ 10^{7}$ min = $5,3\ 10^{5}$ min

A = $1,499\ 10^{1}$ desintegrações/min = **15 desintegrações/min.**

---

5. Um osso, contendo 200g de carbono, tem uma atividade beta de 400 desintegrações por minuto. *Qual a idade do osso*?

SOLUÇÃO

Se o osso fosse um organismo vivo $\Rightarrow$ 15 desintegrações/min g.
Como temos 200 g,
A_0 = 3 000 desintegrações/min

$$\frac{A}{A_0} = \frac{400}{3000} = \frac{1}{7{,}5}$$

Depois de **n** meia-vida **A** diminui por $(1/2)^n$. Assim, temos

$(1/2)^n = (1/7,5)$ ou $2^n = 7,5$

$\ln 2^n = \ln 7,5 \Rightarrow n \ln 2 = \ln 7,5 \Rightarrow n = (\ln 7,5/\ln 2) = 2,91 \approx 3$ meias-vidas = 3 x 5730 anos = 16 700 anos $\therefore$ **idade do osso = 16 700 anos**

---

6. Um certo elemento radiotivo tem uma meia-vida de 20 dias.
   a. Qual é o tempo necessário para que ¾ dos átomos inicialmente presentes se desintegrem?
   b. Quanto vale a constante de desintegração e a vida média?

SOLUÇÃO

τ = 20 dias $\Rightarrow$ λ . 20 = 0,693 $\Rightarrow$ $\lambda = (0,693)/20 = 0,0347$ dias^{-1}

a. $(3/4)N_0$ átomos desintegrando $\Rightarrow$ ficaremos com $N = (1/4)N_0$

$(1/4)N_0 = N_0\ e^{-\lambda . t} \Rightarrow \ln 0,25 = -\ 0,0347\ t \Rightarrow t = (1,3863/0,0347) = 40$ dias

b. $\lambda = 0,0347$ dias^{-1} $\Rightarrow$ $T = (1/\lambda) = (1/0,0347) = 28,86$ dias

7. Na desintegração do ^{226}Ra é emitida uma partícula alfa. Se essa partícula se chocar com uma tela de sulfeto de zinco, produzir-se-á uma cintilação. Desse modo é possível contar diretamente o número de partículas alfa emitidas por segundo por um grama de ^{226}Ra, tendo sido determinado esse número por Hess e Lawson como sendo igual a 3,72 x 10^{10}. Use esses dados e o número de Avogadro - 6,02 x 10^{23} moléculas por mol - para calcular a meia-vida do rádio.

SOLUÇÃO

226 g ..... 6,02 10^{23}
1 g ..... x $\Rightarrow$ x = 0,02664 10^{23} átomos

1 g de ^{226}Ra contém 2,664 10^{21} átomos

$N_0 = R_0$ x 1,44 τ $\Rightarrow$ τ = (2,664 10^{21})/(3,72 x 1,44 10^{10}) = 0,4973 10^{11} s = 0,016 10^{5} átomos

τ = 1 600 anos

8. A atividade de um certo fóssil diminui de 1530 desintegrações por minuto para 190 desintegrações por minuto já com correção da radiação de fundo, durante o processo de fossilização. Sendo a meia-vida do isótopo radioativo do ^{14}C de 5.760 anos, determine a idade do fóssil.

SOLUÇÃO

1530 desintegrações/s $\rightarrow$ 190 desintegrações/s

τ = 5760 anos

$\lambda = (0,693)/\tau = (0,693/5760)$ anos^{-1} = 2,33 10^{-10} min^{-1}

$A = A_0 e^{-\lambda t}$ $\Rightarrow$ 190 = 1530 $e^{-\lambda t}$ $\Rightarrow$ ln 190 = ln 1530 – 2,33 10^{-10} t

5,25 = 7,33 – 2,33 10^{-10} t $\Rightarrow$ t = (2,083/2,33) 10^{10} min = 0,894 10^{10} min = 1,7246 10^{4} anos = **17 246 anos**

9. O carvão do fogo de um antigo acampamento indígena apresenta uma atividade devida ao ^{14}C de 3,83 desintegrações por minuto por grama de carbono da amostra. A atividade do ^{14}C na madeira das árvores vivas independe da espécie vegetal e vale 15,3 desintegrações por minuto por grama de carbono da amostra. Determine a idade do carvão.

SOLUÇÃO

A = 3,83 desintegrações/(min g) A_0 = 15,3 desintegrações/(min g)

τ = 5 760 anos (problema anterior) $\lambda = 0,693/\tau$ = 1,203 10^{-4} anos^{-1}

$A = A_0 e^{-\lambda t}$ $\Rightarrow$ $A/A_0 = e^{-\lambda t}$ $\Rightarrow$ ln (3,83/15,3) = $e^{-\lambda t}$

- 1,385 = - 1,203 10^{-4} t $\Rightarrow$ t = **1,1513 10^{4} anos** ou **t = 11 513 anos**

10. Uma amostra de ^{128}I contém 2,0 x 10^{10} átomos radioativos. Sendo a meia-vida desse isótopo de 25 minutos, calcule o número de átomos que decaem por segundo.

SOLUÇÃO

$N = 2 \times 10^{10}$ átomos $\tau = 25$ min $= 1500$ s

$\lambda \cdot \tau = 0{,}693 \Rightarrow \lambda = 0{,}693 / 1500 = 0{,}00046\ s^{-1}$

$A_0 = \lambda \cdot N_0 = 0{,}00046 \cdot 2 \cdot 10^{10} = 0{,}00092 \cdot 10^{10}$ desintegrações/s

ou seja $9{,}2 \cdot 10^6$ átomos (= 9,2 milhões de átomos)

---

11. O volume de um fluido extracelular pode ser medido injetando-se sulfato de sódio marcado com ^{35}S. Uma tal fonte tem uma atividade inicial de 2 mCi. Sabendo-se que este isótopo tem uma meia-vida de 87 dias, calcule a atividade da fonte após 60 dias em Ci e em Bq.
Após quanto tempo a atividade cai a 0,5 mCi?

SOLUÇÃO

$A_0 = 2 \cdot 10^{-3}$ Ci $\tau = 87$ dias $t = 60$ dias $A = ?$

$\lambda \cdot 87 = 0{,}693 \Rightarrow \lambda = 0{,}693/87 = 0{,}00797\ \text{dias}^{-1}$

$A = A_0\, e^{-\lambda . t} \Rightarrow A = 2 \cdot 10^{-3}\, e^{-\,0{,}00797\,\cdot\,60} \Rightarrow A = 1{,}24 \cdot 10^{-3}$ Ci
$A = (1{,}24 \cdot 10^{-3})(3{,}7 \cdot 10^{10}) = 4{,}59 \cdot 10^{7}$ Bq

---

12. Um material radioativo contém inicialmente 3 mg de ^{234}U, cuja meia-vida é de $2{,}48 \cdot 10^5$ anos.
a. Quantos miligramas de ^{234}U existirão após $4{,}96 \cdot 10^5$ anos?
b. Calcule a atividade inicial e a final no período citado no ítem a.

SOLUÇÃO

$m_0 = 3$ mg ^{234}U $\tau = 2{,}48 \cdot 10^5$ anos $t = 4{,}96 \cdot 10^5$ anos $= 2 \cdot \tau$

a. Decorridas 2 meia-vidas a amostra cai a ¼ do original. Assim, restarão 0, 75 mg.
b. $A = \lambda \cdot N$ $\lambda = 0{,}693/(2{,}48 \cdot 10^5)$

234 g → $6{,}02 \cdot 10^{23}$ átomos
3 mg → N_0

$N_0 = (3 \cdot 10^{-3}).(6{,}02 \cdot 10^{23})/234$

$$A_0 = \frac{0{,}693}{2{,}48.10^5}\,\frac{3.10^{-3}6{,}02.10^{23}}{234} = 0{,}0216.10^{15}\,\frac{des\,\text{int}\,egracoes}{s} = 2{,}16 \cdot 10^{13}\ \text{Bq}$$

$A_0 = (2{,}16 \cdot 10^{13})/(3{,}7 \cdot 10^{10}) = 0{,}0058 \cdot 10^5$ Ci $= 580$ Ci

---

13. O sódio radioativo ^{24}Na que tem uma meia-vida de 15 horas é enviado de um laboratório para um hospital, gastando no percurso 3 horas. Sabendo-se que sua atividade deve ser de 10 mCi ao chegar ao hospital, calcule a atividade da fonte na saída do laboratório.

SOLUÇÃO

τ = 15 h   t = 3 h   A = 10 mCi A_0 = ?

$A = A_0\, e^{-\lambda t} \Rightarrow 10 = A_0\, e^{-\lambda\, 3}$

$\lambda = 0{,}693/15 = 0{,}0462\ h^{-1}$

$A_0 = 10 / e^{-0{,}0462\ 3} = 10 / 0{,}87058 = 11{,}48665$ mCi

14. Uma fonte de ^{131}I com vida-média de 11,52 dias tem uma atividade inicial de 3 mCi. Encontre a meia-vida e o número total de desintegrações da fonte.

SOLUÇÃO

T = 11,52 dias A_0= 3 mCi τ = ?   N = ?

$T = 1/\lambda \Rightarrow \lambda = 1/T = 1/11{,}52 = 0{,}0868\ dias^{-1} = 0{,}000001\ s^{-1}$

$\lambda\ .\ \tau = 0{,}693 \Rightarrow \tau = 0{,}693/0{,}0868 = 7{,}98$ dias

$A = \lambda\, N \Rightarrow 3\ .\ 10^{-3}\ .\ 3{,}7\ .\ 10^{10} = 0{,}000001\ .\ N$

$N = 1{,}105\ .\ 10^{14}$ desintegrações

15. Células cancerosas são as mais vulneráveis a radiações X e gama do que as células sadias. Apesar de haver atualmente aceleradores lineares que o substituem, no passado a fonte padrão de terapia por radiação era o radionuclídeo ^{60}Co, que decai em beta num estado nuclear excitado ^{60}Ni, que, imediatamente, decai no estado fundamental, emitindo dois fótons de raios-gama, cada um com energia de aproximadamente 1,2 MeV. A meia-vida do decaimento beta, que é o controlador do processo, é de 5,27 anos. *Quantos núcleos radioativos ^{60}Co estão presentes em uma fonte de 6.000 Ci usada num hospital*?
(1 Ci = 1 Curie = $3{,}7 \times 10^{10}$ desintegrações/s = $3{,}7 \times 10^{10}$ Bq)

SOLUÇÃO

Células cancerosas são vulneráveis a raios -X e raio -γ
^{60}Co é o padrão de terapia por radiação.
A reação nuclear é

$$^{60}Co \rightarrow {}^{60}Ni^{*} + e^{-} \rightarrow {}^{60}Ni + 2\,\gamma$$

E_γ = 1,2 MeV   meia-vida τ_{Co} = 5,27 anos

1 ano = 31 104 000 s = $3{,}1 \times 10^{7}$ s

$N_{Co}{}^{60}$ = ? $A = 6\ 000\ Ci = 6\ 000 \times 3{,}7\ 10^{10}$ desintegrações/s $= \lambda\, N$

$\lambda = (\ln 2)/\tau = (0{,}693)/(5{,}27\ anos) = 0{,}132\ anos^{-1} = (0{,}132)/(3{,}1 \times 10^{7}) = 4{,}2 \times 10^{-9}\ s^{-1}$

$$A = \lambda\, N = 6 \times 3{,}7 \times 10^{13} = 4{,}2 \times 10^{-19}\ N$$

$N = 5{,}3 \times 10^{22}$ átomos

16. Depois de longo esforço, em 1902, Marie e Pierre Curie conseguiram separar do minério de urânio a primeira quantidade substancial de rádio, um decigrama de $RaCl_2$ puro. O rádio era o isótopo radioativo ^{226}Ra, que tem uma meia-vida de 1.600 anos.
a. Quantos núcleos de rádio eles isolaram?
b. Qual a taxa de decaimento da amostra, em desintegrações/s? Em Curies?

A unidade Curie (abreviadamente Ci) foi adotada em homenagem aos Curie, que receberam, em 1903, o Prêmio Nobel de Física por seus trabalhos nos fenômenos de radiação. Um Curie é igual a $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações/s.

SOLUÇÃO

(1/10)g de $RaCl_2$ $\tau = 1\ 600$ anos

a. 1 mol de ^{226}Ra $\rightarrow$ $6,02\ 10^{23}$ núcleos
1 mol de ^{226}Ra $\rightarrow$ 226 g

1 mol de $RaCl_2$ tem 226 g + 2 x 35,453 ≈ 297 g

(1/10) g de $RaCl_2$ tem $2,03 \times 10^{20}$ moléculas de $RaCl_2$ ou

$2,03 \times 10^{20}$ átomos (núcleos) de Ra

b. A taxa de desintegração por grama será:

$A = (0,693/1600)\ 2,03 \times 10^{20} = \lambda N$

$A = 8,79 \times 10^{16}$ desintegrações/ano

1 ano = $3,16 \times 10^7$ s

$A = (8,79\ 10^{16})/(3,16\ 10^7) = 2,78 \times 10^9$ desintegrações/s

1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações/s então

$A = (2,78\ 10^9)/(3,7\ 10^{10})$ = **0,075 Ci**

---

17. Um dos perigos dos resíduos radioativos de uma bomba nuclear é o ^{90}Sr, que sofre decaimento beta com meia-vida de 29 anos. Por ter propriedades químicas muito parecidas com as do cálcio, o estrôncio, se consumido por uma vaca, concentra-se no leite e termina nos ossos de qualquer pessoa que tomar o leite. Os elétrons de alta energia de decaimento prejudica a medula óssea, impedindo, assim, a produção de hemácias. Uma bomba de 1 megaton produz aproximadamente 400g de ^{90}Sr. Se os resíduos se dispersarem uniformemente sobre uma área de 2.000 Km^2, que porção desta área teria uma radioatividade igual a 0,002 mCi, que é a dose máxima de radioatividade suportada pelos ossos de uma pessoa? 1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$desintegrações/s.

SOLUÇÃO

Hemácias = glóbulos vermelhos do sangue

^{90}Sr $\tau = 29$ anos $\lambda = (0,693)/29 = 0,024$ $anos^{-1}$

1 Mton $\rightarrow$ 400 g ^{90}Sr

90 g ^{90}Sr $\rightarrow$ contém $6,02 \times 10^{23}$ átomos de ^{90}Sr.
400 g de ^{90}Sr $\rightarrow$ conterá x

x = (2400,08/90) 10^{23} = 2,67 10^{24} átomos

A = λ N = 0,024 x 2,67 x 10^{24} desintegrações/ano

A = 0,064 10^{24} desintegraçòes/ano

A = (0,064 10^{24})/(3,16 10^{7})= 0,02 10^{17} desintegrações/s

A = (0,02 10^{17})/ (3,7 10^{10}) = 5,41 10^{4} Ci

5,41 10^{4} Ci .....2 000 km^2
x .....1 km^2

x = 2,705 10 Ci/km^2

1 km^2 ..... 27,05 Ci
x .... 0,002 10^{-3} Ci

x = 0,074 10^{-6} km^2 = 0,074 m^2 = **740 cm^2**

A cada 740 cm^2 teremos a máxima dose de radioatividade suportada pelos ossos de uma pessoa.

---

18. Vinte milicuries de ^{99}Tc (Tecnécio, está entre o Molibdênio e o Rutênio na Tabela Periódica) são injetados num paciente que faz um mapeamento cerebral. Em cada desintegração desse radioisótopo cuja meia-vida é de 6 horas é emitido um raio gama de 0,143 MeV. Admitindo que metade dos raios gama escapa do corpo sem interagir, calcule a *DOSE ABSORVIDA* por um paciente de 60 Kg, e a quantidade em gramas de ^{99}Tc injetada.

SOLUÇÃO

A = 20 mCi = 20 x 3,7 10^{7} desintegrações/s = 7,4 10^{8} desintegrações/s

λ = (0,693)/6 horas = 0,1155 h^{-1}

A vida-média (não é a meia-vida) de um átomo é dada por

<T> = 1/λ = soma das idades de todos os átomos dividido pelo número total de átomos.
<T> = 1/ 0,1155 = 8,66 horas
O número de desintegrações N sofrida pela amostra será:

N = A <T> = 7,4 10^{8} desintegrações/s x 8,66 x 3 600 s = 2,31 x 10^{13} desintegrações

Como metade dos raios - γ escapam sem interagir com o corpo; somente

(1/2) N = 1,15 10^{13} raios - γ interagirão com o corpo.

Cada raio - γ tem energia de 0,143 MeV, ou

0,143 MeV = 0,143 10^{6} eV = 0,143 10^{6} x 1,6 10^{-19} J = 0,23 x 10^{-13} J

As mudanças químicas e biológicas que ocorrem, pôr exemplo, no tecido exposto à radiação dependem da energia absorvida pelo mesmo. Dessa forma, foi introduzida a grandeza *DOSE ABSORVIDA* D, definida como

D = E / m

A unidade de D é
1 rad = 10^{-2} J/kg

D = (1,15 x 10^{13} x 0,23 x 10^{-13} J)/60 kg = 4,4 x 10^{-3} J/kg

D = 0,44 rad

A quantidade de ^{99}Tc injetada é igual ao número de átomos que desintegraram, ou seja,
2,31 x 10^{13} átomos.
Agora
6,02 x 10^{23} átomos ..... 99 g
2,31 x 10^{13} átomos x

x = 37,99 x 10^{-20} g

x = 3,8 x 10^{-9} g ou seja quase 4 bilionésimos de grama foram injetados!!!!

19. O isótopo ^{197}Hg emite radiação gama de 77 KeV por desintegração. Uma quantidade de 1,97 x 10^{-9} g desse material é administrada a um paciente de 74 Kg, na detecção de um tumor. Se a meia-vida desse isótopo no organismo do paciente for de 51,1 horas, calcule:

a. a atividade inicial da amostra no corpo em microCi (μCi);
b. o tempo necessário para que a atividade seja reduzida a 1/32 do seu valor inicial;
c. a dose total absorvida pelo paciente.

SOLUÇÃO

E_γ = 77 KeV = 77 10^3 x 1,6 10^{-19} J = 77 x 1,6 x 10^{-16} J = 123,2 10^{-16} J = 1,232 10^{-14}J

1,97 10^{-9} g...... N_0
197 g ..... 6,02 10^{23} ⇒ N_0 = 6,02 10^{12}

a. $N_0 = A_0 \langle T\rangle \Rightarrow 6{,}02\ 10^{12} = A_0 \langle T\rangle$

$\langle T\rangle = 1/\lambda = \tau/0{,}693 = 1{,}44\ \tau = 1{,}44 \times 51{,}1$ h = 73,6 h = 73,6 x 3 600 = 264 902,4 s

A_0 = (6,02 x 10^{12})/<T> = (6,02 10^{12})/2,65 10^5) = 2,27 10^7 desintegrações/s

A_0 = (2,27 10^7)/(3,7 10^{10}) = 0,613 10^{-3} Ci = 613 10^{-6} Ci = 613 μCi
A_0 = 613 μCi

b. $(1/32)\ A_0 = A_0\ e^{-\lambda t} \Rightarrow (1/32) = e^{-\lambda t} \Rightarrow -\lambda t = \ln(1/32)$
$t = [\ln(1/32)]/-\lambda$

t = (-3,466)/(-3,775 10^{-6}) = 0,918 10^6 s = 255 h = **10,62 dias**

c. D = E/m = (6,02 10^{12})x(1,232 10^{-14})/74 = 0,1 10^{-2} J/kg = **0,1 rad**

20. O isótopo ^{32}P é administrado a um paciente que pesa 64 Kg. Esse isótopo tem uma meia-vida no paciente de 10 dias. A energia da partícula beta emitida por esse isótopo por desintegração é de 0,698 MeV. Se a dose absorvida não deve superar 1 rad.

a. Quantos gramas de ^{32}P devem ser administrados ao paciente?
b. A quantos microCi correspondem?
c. Qual é a atividade após 20 dias?

SOLUÇÃO

τ = 10 dias = 864 000 s
E_β = 0,698 MeV = 0,698 10^6 eV = 0,698 10^6 x 1,6 10^{-19} = 1,12 10^{-13} J

a. 1 rad = 10^{-2} J/kg $\geq$ [(N x 1,12 10^{-13})/64] (J/kg)
10^{-2} J/kg $\geq$ N x 0,0175 10^{-11} rad
1 $\geq$ N x 0,0175 10^{-11} $\therefore$ N $\leq$ (1/0,0175) 10^{11} ou
N $\leq$ 57,143 10^{11} desintegrações

6,02 10^{23} ..... 32 g
57,31 10^{11} ... x $\Rightarrow$ x $\leq$ (32 x 57,31 10^{11})/(6,02 10^{23}) ou

x $\leq$ 304,64 10^{-12} g ou ainda **x $\leq$ 3,05 10^{-10} g**

menos que 3 décimos de bilionésimos de grama de ^{32}P.

b. N = R_0 <T> = 1,44 R_0 τ $\Rightarrow$ R_0 = N/(1,44τ) = (57,31 10^{11})/(1,44 x 86 400) = 4,606 10^{-5} 10^{11}

R_0 = (4,6 10^6)/(3,7 10^{10}) Ci = 0,1245 mCi = **125 μCi**

c. R = R_0 $e^{-\lambda t}$ = 4,6 10^6 $e^{-(0,693/10)\ 20}$ = 4,6 10^6 $e^{-2 \times 0,693}$ = 4,6 10^6 x 0,25 = 1,15 10^6 desintegrações/s = 0,311 10^{-4} Ci = **31,1 μCi**

EXERCÍCIO EXTRA SOBRE DATAÇÃO RADIOATIVA

A análise espectrométrica dos átomos de potássio e argônio de uma amostra de rochas da Lua mostrou que a razão entre o número de átomos do ^{40}Ar (estável) presente e o número de átomos do ^{40}K (radioativo) é 10,3. Suponha que todos os átomos do argônio foram produzidos pelo decaimento dos átomos do potássio e que a meia-vida, para este decaimento foi determinada como 1,25 10^9 anos. *Qual a idade da rocha*?

SOLUÇÃO

Se N_k^0 átomos de potássio estavam presentes no tempo em que a rocha foi formada pela solidificação de magma lunar, o número de átomos de potássio remanescentes no tempo da análise é:

$N_k = N_k^0\, e^{-\lambda t}$ t: idade da rocha

Para cada átomo de potássio que decai, um átomo de argônio é produzido. Assim, o número de átomos de argônio presentes no tempo da análise é:

$N_A = N_k^0 - N_k$

Não podemos medir o N_k^0, mas

$$\frac{N_A}{N_k} = \frac{N_k^0}{N_k} - 1 \quad \text{ou} \quad \frac{N_A}{N_k} + 1 = \frac{N_k^0}{N_k}$$

Agora

$\frac{N_k}{N_k^0} = e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{N_A}{N_k} + 1 = e^{\lambda t}$. Aplicando logarítmo de ambos os lados, temos:

$\ln\left(\frac{N_A}{N_k} + 1\right) = \ln e^{\lambda t} = \lambda t.$

(N_A/N_k) é a razão medida. Assim, temos:

$t = \{\ln\left(\frac{N_A}{N_k} + 1\right)\}/\lambda = \{\ln\left(\frac{N_A}{N_k} + 1\right)\}/\{\ln 2/\tau\} = \{\ln(10,3 + 1) \times 1,25\ 10^9\}/\ln 2 = \mathbf{4,37\ 10^9}$ **anos**

ou seja, 4,37 bilhões de anos!!!!

Medidas menores podem ser feitas em outras amostras de rochas terrestres e lunares, mas nenhuma substancialmente maior. Este resultado pode ser tomado como uma boa aproximação para a idade do sistema solar!!!!!!

EXERCÍCIO EXTRA SOBRE USINA NUCLEAR

Uma grande usina elétrica funciona alimentada por um reator nuclear de água pressurizada. A potência térmica desenvolvida no núcleo do reator é igual a 3 400 MW e a usina produz 1 100 MW de energia elétrica. A carga de combustível é composta por 86 000 kg de urânio sob a forma de 110 toneladas de óxido de urânio, distribuídas entre 57 000 barras de combustível. O urânio é enriquecido até 3,0% de ^{235}U.

a. Calcule o *rendimento* desta usina

SOLUÇÃO

η = (Potência produzida)/(Potência fornecida) = (1100 MW)/(3400 MW) = 0,32 $\therefore$ η = 32% (rendimento)

A diferença 3 400 - 1 100 = 2 300 MW é desperdiçada sob a forma de energia térmica no meio ambiente (água do circuito terciário de refrigeração)

b. Calcule a *taxa R de ocorrência dos eventos de fissão* no núcleo do reator.

SOLUÇÃO

Sendo P (= 3 400 MW) a potência térmica no núcleo do reator e Q (= 200 MeV) a energia liberada em cada evento de fissão, vemos que, no estado estacionário, temos:

$R = P/Q = (3,4\ 10^9)/(200\ 10^6) = (3,4\ 10^{9})/(200\ 10^6 \times 1,6\ 10^{-19}) =$
$= 1,06\ 10^{20}$ fissões/s

c. Calcule *a taxa de consumo do* ^{235}U. Suponha as condições existentes no início do processo.

SOLUÇÃO

O ^{235}U é consumido pela fissão a uma taxa calculada no 'tem b. Ele também é consumido pôr captura (não fissionável) de nêutrons a uma taxa cerca de um quarto mais elevada do que esta taxa. A taxa de consumo total do ^{235}U é, portanto, de $1,25 \times 1,06 \times 10^{20} = 1,33 \times 10^{20}$ átomos/s

Podemos calcular a taxa de perda de massa do seguinte modo:

$\Delta M/\Delta t = 1{,}33\ 10^{20}$ x massa consumida

0,235 kg/mol .... ^{235}U
1 mol ..... $6{,}023\ 10^{23}$ átomos

$0{,}235/(6{,}02\ 10^{23}) = 0{,}039\ 10^{-23}$ kg/átomo

$\Delta M/\Delta t = 1{,}33\ 10^{20} \times 0{,}039\ 10^{-23} = 5{,}19\ 10^{-5}$ kg/s = 4,5 kg/dia

d. Supondo esta taxa de consumo de combustível constante, qual seria *o tempo de duração deste suprimento de combustível*?

SOLUÇÃO

A partir dos dados fornecidos, podemos concluir que, no início do processo, havia cerca de

0,03 x 86 000 = 2 600 kg de ^{235}U.

Tempo = (2 600 kg)/(4,5 kg/dia) = 578 dias

Na prática, as barras de combustível são trocadas (em geral em séries sucessivas) antes de o combustível ^{235}U ser consumido significativamente

e. Calcule a *taxa de conversão da massa de repouso em energia* no núcleo do reator.

SOLUÇÃO

De acordo com a relação de Einstein, temos:

$$E = \Delta m\ c^2$$

$\Delta M/\Delta t = (\Delta E/\Delta t)/c^2 = (3{,}4\ 10^9)/(3\ 10^8) =$ **$3{,}8\ 10^{-8}$ kg/s** ou **3,3 g/dia**

Vemos que a taxa de conversão da massa corresponde à massa de uma pequena moeda de um centavo a cada dia! Esta taxa de massa de repouso (convertida em energia) é bastante diferente da taxa de consumo do combustível nuclear (perda dos nuclídeos de ^{235}U) calculada no ítem c.