Capítulo 11

Radioatividade

1. (UERJ) A sequência simplificada abaixo mostra as etapas do decaimento radioativo do isótopo urânio-238:

$$\boxed{{}_{92}U^{238} \xrightarrow{I} {}_{90}Th^{234} \xrightarrow{II} {}_{91}Pa^{234} \xrightarrow{III} {}_{84}Po^{210} \xrightarrow{IV} {}_{82}Pb^{206}}$$

Determine o número de partículas α e β emitidas na etapa III e identifique, por seus símbolos, os átomos isóbaros presentes na sequência. (Consulte a tabela periódica fornecida)

Resolução:

ETAPA III $\quad {}_{91}Pa^{234} \longrightarrow {}_{84}Po^{210} + x\ {}_{2}\alpha^{4} + y\ {}_{-1}\beta^{0}$

$234 = 210 + 4x + 0 \ \therefore\ x = 6 \ \therefore\ 6\ {}^{4}_{2}\alpha^{0}$

${}_{91}Pa^{234} \longrightarrow {}_{84}Po^{210} + 6({}_{2}\alpha^{4}) + y_{0}\beta$

$+91 \quad = \quad +84 \quad +12 \quad -y$

$91 = 84 + 12 - y \ \therefore\ \boxed{y = 5}$

Na sequência foram emitidas 6 partículas α e 5 partículas β. A sequência dos isótopos formados depende da sequência da emissão das partículas α e β. (*Resposta*)

2. (UERJ) O isótopo rádio-226, utilizado em tratamentos medicinais, é um alfa-emissor com tempo de meia-vida de 3,8 dias.

Para estudar a decomposição do rádio-226, realizou-se um experimento em que uma amostra sólida de 1 mol dessa substância foi introduzida em uma ampola com capacidade de 8,2 L. Nessa ampola, a pressão interna inicial era igual a 1,5 atm e a temperatura, constante em todo o experimento, igual a 27 ºC.

Considere as informações abaixo:

– o decaimento do rádio-226 produz radônio-222 e hélio-4;
– os gases hélio e radônio têm comportamento ideal;
– não há reação entre os gases no interior da ampola.

Calcule a pressão, em atm, no interior da ampola, 7,6 dias após o início do experimento.

Resolução:

Tempo	${}^{226}_{88}Ra_{(s)}$	$\longrightarrow$	${}^{222}_{86}Rn_{(g)}$	+	${}^{4}_{2}He_{(g)}$		Total em mol de *gás* proveniente do $Ra_{(s)}$
0 dia	1 mol	______	0 mol	______	0 mol	______	0 mol
3,8 dias	0,5 mol	______	0,5 mol	______	0,5 mol	______	0,5 + 0,5 = 1,0 mol
7,6 dias	0,25 mol	______	0,25 mol	______	0,25 mol	______	1,0 + 0,25 + 0,25 = 1,5 mol

No instante em que o Ra(s) é introduzido na ampola, esta contêm um gás não mencionado no texto (provavelmente ar) com pressão igual a 1,5 atm. Decorridos 7,6 dias formam-se na ampola 1,5 mol de gases (Rn + He).

A pressão exercida pelos gases Rn e He será:

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{1{,}5\ \text{mol} \times 0{,}082\ \text{atm} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300\text{K}}{8{,}2\ \text{L}} = 4{,}5\ \text{atm}$$

Pressão total na ampola após 7,6 dias = 4,5 atm + 1,5 atm = 6,0 atm (*Resposta*)

3. (UnB) Considere a seguinte situação hipotética.

Pedaços de madeira de uma embarcação naufragada, encontrada no fundo do mar, na costa brasileira, foram analisados, verificando-se a presença de $1{,}0 \times 1{,}0^{-6}$ % do isótopo ^{14}C. Para esse isótopo tem-se que $\frac{[C]}{[C]_0} = e^{-0{,}7\frac{t}{t_{1/2}}}$, em que [C] é a porcentagem de ^{14}C determinada na análise, $[C]_0 = 1{,}13 \times 10^{-6}$ % é a porcentagem de ^{14}C nos pedaços de madeira na data do naufrágio, t é o tempo, em anos, decorrido desde o naufrágio até a data da análise, e $t_{1/2} = 5730$ anos é o tempo de meia-vida do ^{14}C.

Nessa situação, tomando 0,122 como valor aproximado para $\ell n(1{,}13)$, é correto concluir que os pedaços de madeira analisados podem ter pertencido a uma embarcação que naufragou na época das Grandes Navegações?

Resolução:

$[C] = 1{,}0 \times 1{,}0^{-6}$ %

$[C]_0 = 1{,}13 \times 10^{-6}$ %

$t_{1/2} = 5730$ anos

$$\frac{[C]}{[C]_0} = e^{-0{,}7\frac{t}{t_{1/2}}} \therefore \frac{1{,}0 \times 1{,}0^{-6}}{1{,}13 \times 10^{-6}} = e^{-\frac{0{,}7t}{5730}}$$

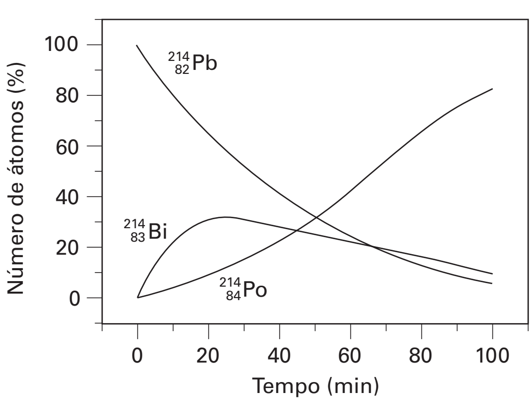
$$\frac{1{,}0}{1{,}13} = e^{-\frac{0{,}7t}{5730}} \therefore 1{,}13 = e^{\frac{0{,}7t}{5730}}$$

$$\ell n\ 1{,}13 = 0{,}122 = \frac{0{,}7t}{5730}$$

$$t = \frac{0{,}122 \times 5730}{0{,}7} \simeq 1000 \text{ anos} = 10 \text{ séculos}$$

A afirmação está incorreta porque as grandes navegações ocorreram no final do século XV, portanto, há 6 séculos atrás. (*Resposta*)

4. (ITA) O $^{214}_{82}Pb$ desintegra-se por emissão de partículas Beta, transformando-se em $^{214}_{83}Bi$ que, por sua vez, se desintegra também por emissão de partículas Beta, transformando-se em $^{214}_{84}Po$. A figura abaixo mostra como varia, com o tempo, o número de átomos, em porcentagem de partículas, envolvidos nestes processos de desintegração. Admita $\ell n\ 2 = 0{,}69$. Considere que, para estes processos, sejam feitas as seguintes afirmações:

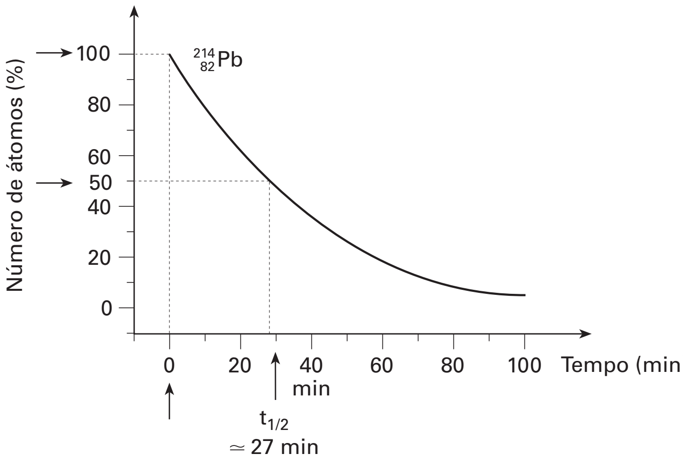


I. O tempo de meia-vida do chumbo é de aproximadamente 27 min.
II. A constante de velocidade da desintegração do chumbo é de aproximadamente 3×10^{-2} min^{-1}.
III. A velocidade de formação de polônio é igual à velocidade de desintegração do bismuto.
IV. O tempo de meia-vida do bismuto é maior que o do chumbo.
V. A constante de velocidade de decaimento do bismuto é de aproximadamente 1×10^{-2} min^{-1}.

Das afirmações acima, estão corretas

a) apenas I, II e III
b) apenas III e IV
c) apenas I e IV
d) apenas IV e V
e) apenas II, III e V.

Resolução:



$t = 0$ min …… 100% de átomos $^{214}_{84}$Pb

$t = 27$ min …… 50% de átomos $^{214}_{84}$Pb

$t_{1/2} \simeq 27$ min

(I) A afirmação I está correta: o tempo de meia vida do $^{84}_{214}$Pb é aproximadamente 27 min.

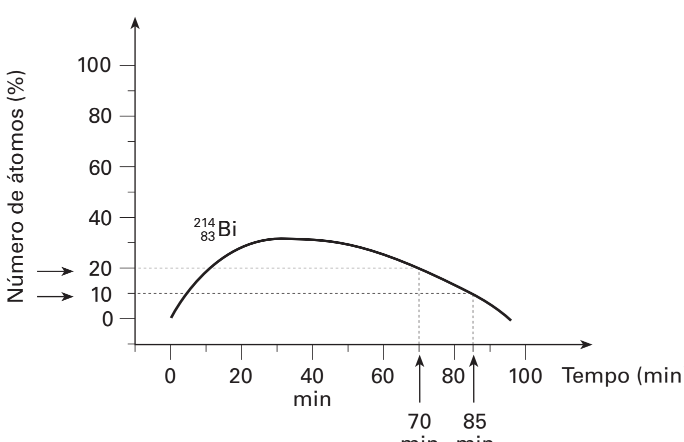
$$k = \frac{\ell n\, 2}{t_{1/2}} = \frac{0{,}693}{27 \text{ min}} = 2{,}57 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$$

(II) A afirmativa II diz que $k \simeq 3 \times 10^{-2}$ min^{-1} . Como o k foi expresso com 1 *algarismo significativo*, o valor *calculado* expresso com 1 algarismo significativo também é 3×10^{-2} min^{-1} e a afirmação II está correta.

$$^{214}_{82}\text{Pb} \longrightarrow {}^{\alpha}_{-1}\beta + {}^{214}_{83}\text{Bi}$$
$$\hookrightarrow {}^{0}_{-1}\beta + {}^{214}_{84}\text{Po}$$

(III) A equação mostra claramente que a velocidade de formação do $^{214}_{84}$Po é igual à velocidade de desintegração do $^{214}_{83}$Bi, portanto, a afirmativa III está correta.

(IV)



$t = 70$ min …… 20% de átomos Bi

$t = 85$ min …… 10% de átomos Bi

$t_{1/2}$ do $^{214}_{83}$Bi = 15 min

$t_{1/2}$ do $^{214}_{82}$Pb = 27 min

$t_{1/2}$ do Bi < $t_{1/2}$ do Pb

A afirmação (IV) está incorreta

$$^{214}_{83}\text{Bi} \longrightarrow {}^{214}_{84}\text{Po} + {}^{0}_{-1}\beta$$

$t_{1/2} = 15$ min

$$k = \frac{\ell n\, 2}{t_{1/2}} = \frac{0{,}693}{15 \text{ min}} = 4{,}6 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$$

A afirmativa V está incorreta.

As afirmativas corretas são I, II e III, somente (*Resposta a*)

5. (ITA) O tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) do decaimento radioativo do potássio 40($^{40}_{19}K$) é igual a $1{,}27 \times 10^9$ anos. Seu decaimento envolve os dois processos representados pelas equações seguintes:

I. $^{40}_{19}K \longrightarrow\ ^{40}_{20}Ca +\ ^{0}_{-1}e$

II. $^{40}_{19}K +\ ^{0}_{-1}e \longrightarrow\ ^{40}_{18}Ar$

O processo representado pela equação I é responsável por 89,3% do decaimento radioativo do $^{40}_{19}K$, enquanto que o representado pela equação II contribui com os 10,7% restantes. Sabe-se, também, que a razão em massa de $^{40}_{18}Ar$ e $^{40}_{19}K$ pode ser utilizada para a datação de materiais geológicos.

Determine a idade de uma rocha, cuja razão em massa de $^{40}_{18}Ar/^{40}_{19}K$ é igual a 0,95. Mostre os cálculos e raciocínios utilizados.

Resolução:

Consideremos *n* átomos de K iniciais. Cálculo do tempo em meias vidas depois do qual teremos 100 K e 95 Ar ($n_{Ar}/n_K = 0{,}95$)

$$n_K \xrightarrow{x\ t_{1/2}} \begin{cases} 100\ K \\ 95\ Ar \\ y\ Ca \end{cases} \qquad \frac{n_{Ca}}{n_{Ar}} = \frac{893}{107} \qquad \frac{y}{95} = \frac{893}{107} \ \therefore\ y = 793\ Ca$$

n = 100 + 95 + 793 = 988 K inicial.

$$988\ K \xrightarrow{x\ t_{1/2}} \frac{988}{2^x}\ K = 100\ K \ \therefore\ 2^x = 9{,}88 \simeq 10$$

$$x \log 2 = \log 10 \ \therefore\ x = \frac{1}{0{,}3} = 3{,}33 \text{ meias vidas.}$$

Idade da rocha = $1{,}27 \times 10^9$ anos × 3,33 = $4{,}23 \times 10^9$ anos (*Resposta*)

6. (ITA/Prova de Matemática) A lei de decomposição do radium no tempo $t \geqslant 0$ é dada por $M(t) = C\,e^{-kt}$, onde M(t) é a quantidade de radium no tempo t, C e k são constantes positivas (**e** é a base do logaritmo neperiano). Se a metade da quantidade primitiva M(0) desaparece em 1600 anos, qual a quantidade perdida em 100 anos?

a) $(1 - 100^{-1})$ da quantidade inicial
b) $(1 - 2^{-6})$ da quantidade inicial
c) $(1 - 2^{-16})$ da quantidade inicial
d) $(1 - 2^{-1/16})$ da quantidade inicial
e) n.d.a.

Resolução:

$t = 0 \rightarrow M(0) = C\,e^{-k \cdot 0} \ \therefore\ M(0) = C$

$$M(t) = M(0)\,e^{-kt} \ \therefore\ \frac{M(0)}{M(t)} = e^{kt}$$

t = n meias vidas → $t = n\,t_{1/2}$

$$\frac{M(0)}{M(t)} = e^{k \cdot t_{1/2} \cdot n} \qquad k\,t_{1/2} = \ell n\,2 = 0{,}693$$

$$\frac{M(0)}{M(t)} = e^{\ell n 2 \cdot n} \ \therefore\ \ell n \frac{M(0)}{M(t)} = \ell n\,2 \cdot n = \ell n\,2^n$$

Conclusão: $\dfrac{M(0)}{M(t)} = 2^n$ n = número de $t_{1/2}$ decorridos

$$n = \frac{t}{t_{1/2}} = \frac{100 \text{ ano}}{1600 \text{ ano}} = \frac{1}{16} \text{ meia vida}$$

$$\frac{M(0)}{M(t)} = 2^{1/16} \therefore \frac{M(t)}{M(0)} = \frac{2^{-1/16}}{1}$$

$$\frac{M(0) - M(t)}{M(0)} = \frac{1 - 2^{-1/16}}{1} \therefore \frac{\Delta M}{M(0)} = 1 - 2^{-1/16}$$

$$\Delta M = (1 - 2^{-1/16}) \times M(0)$$

$\Delta M = (1 - 2^{-1/16})$ de $M(0) = (1 - 2^{-1/16})$ da quantidade inicial. (*Resposta d*)

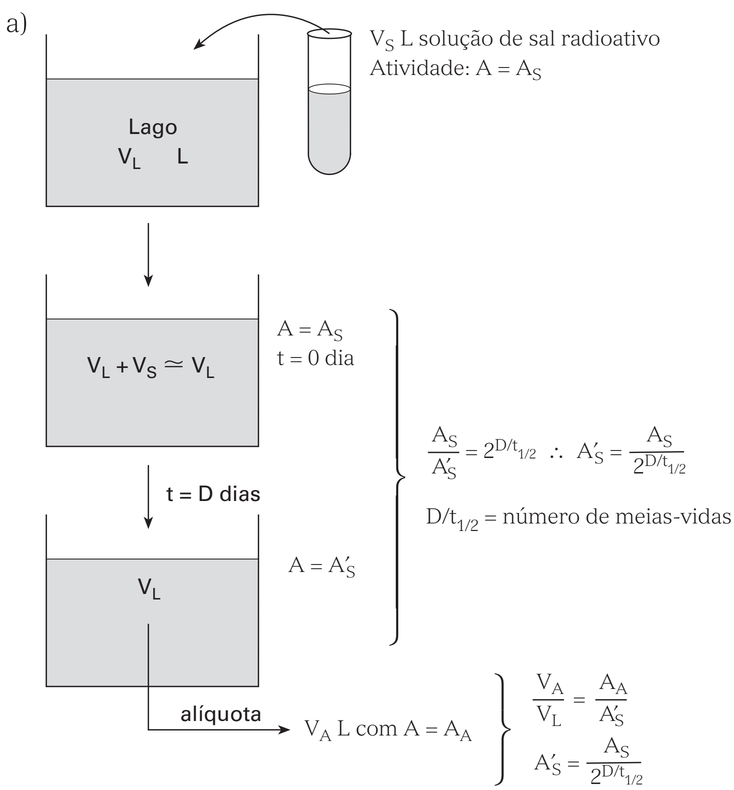
7. (IME) Suponha que se deseja estimar o volume de água de um pequeno lago. Para isso, dilui-se neste lago V_s litros de uma solução de um sal, sendo que a atividade radioativa dessa solução é A_s bequerel (Bq). Após decorridos D dias, tempo necessário para uma diluição homogênea da solução radioativa em todo o lago, é recolhida uma amostra de volume V_A litros, com atividade A_A Bq acima da atividade original da água do lago.

Considerando essas informações e sabendo que a meia-vida do sal radioativo é igual a $t_{1/2}$, determine uma expressão para o cálculo do volume do lago nas seguintes situações:

a) $t_{1/2}$ e D são da mesma ordem de grandeza;
b) $t_{1/2}$ é muito maior do que D.

Resolução

a)



$$A'_s = A_A \cdot \frac{V_L}{V_A} = \frac{A_s}{2^{D/t_{1/2}}} \therefore \boxed{V_L = \frac{A_s}{A_A} \cdot \frac{V_A}{2^{D/t_{1/2}}}}$$ (*Resposta a*)

b) Para $t_{1/2} >>> D$ temos $D/t_{1/2} \simeq 0$ e $2^{D/t_{1/2}} = 2^0 = 1$

$$t_{1/2} >>> D \longrightarrow \boxed{V_L = \frac{A_s}{A_A} \cdot V_A}$$ (*Resposta b*)

8. (IME) A abundância natural do U-235 é 0,72% e sua meia vida é de $7{,}07 \times 10^8$ anos. Supondo que a idade do nosso planeta seja $4{,}50 \times 10^9$ anos, exatamente igual à meia vida do outro isótopo natural do urânio, determine a abundância do U-235 por ocasião da formação da Terra. Considere como isótopos naturais do urânio apenas o U-235 e o U-238.

Para a resolução é dada a tabela seguinte.

x	ln(x)	exp(x)
1,0	0,000	2,718
1,1	0,095	3,004
1,2	0,182	3,320
1,3	0,262	3,669
1,4	0,336	4,055
1,5	0,405	4,482
1,6	0,470	4,953
1,7	0,531	5,474
1,8	0,588	6,050
1,9	0,642	6,686
2,0	0,693	7,389
2,1	0,742	8,166
2,2	0,788	9,025
2,3	0,833	9,974
2,4	0,875	11,023
2,5	0,916	12,182
2,6	0,956	13,464
2,7	0,993	14,880
2,8	1,030	16,445
2,9	1,065	18,174
3,0	1,099	20,086
3,1	1,131	22,198
3,2	1,163	24,544
3,3	1,194	27,113
3,4	1,224	29,964
3,5	1,253	33,112
3,6	1,281	36,598
3,7	1,308	40,447
3,8	1,335	44,701
3,9	1,361	49,402

x	ln(x)	exp(x)
4,0	1,386	54,598
4,1	1,411	60,340
4,2	1,435	66,686
4,3	1,504	73,700
4,4	1,526	81,451
4,5	1,548	90,017
4,6	1,589	99,484
4,7	1,548	109,947
4,8	1,569	121,510
4,9	1,589	134,290
5,0	1,609	148,413
5,1	1,629	164,022
5,2	1,649	181,272
5,3	1,668	200,337
5,4	1,686	221,406
5,5	1,705	244,692
5,6	1,723	270,426
5,7	1,740	298,867
5,8	1,758	330,300
5,9	1,775	365,037
6,0	1,792	403,429
6,1	1,808	445,858
6,2	1,825	492.749
6,3	1,841	544,572
6,4	1,856	601,845
6,5	1,872	665,142
6,6	1,887	735,095
6,7	1,902	812,406
6,8	1,917	897,847
6,9	1,932	992,275

x	ln(x)	exp(x)
7,0	1,946	1096,633
7,1	1,960	1211,967
7,2	1,974	1339,431
7,3	1,988	1480,300
7,4	2,001	1635,984
7,5	2,015	1808,042
7,6	2,028	1998,196
7,7	2,041	2208,348
7,8	2,054	2440,602
7,9	2,067	2697,282
8,0	2,079	2980,958
8,1	2,092	3294,468
8,2	2,104	3640,950
8,3	2,116	4023,872
8,4	2,128	4447,067
8,5	2,140	4914,769
8,6	2,152	5431,660
8,7	2,163	6002,912
8,8	2,175	6634,244
8,9	2,186	7331,974
9,0	2,197	8103,084
9,1	2,208	8955,293
9,2	2,219	9897,129
9,3	2,230	10938,019
9,4	2,241	12088,381
9,5	2,251	13359,727
9,6	2,262	14764,782
9,7	2,272	16317,607
9,8	2,282	18033,745
9,9	2,293	19930,370

Resolução

Consideremos uma amostra atual de urânio natural com 72 átomos de ^{235}U. O número de átomos da mistura de isótopos que contém 72 átomos de ^{235}U é igual a 10000, pois, 0,72% de 10000 = 72. O número de átomos de ^{238}U presentes nessa amostra é 10000 – 72 = 9928. A formação da Terra ocorreu $4{,}5 \times 10^9$ anos atrás e essa é meia vida do ^{238}U.

$2 \times 9928 = 19856$ átomos de ^{238}U.

Antes da formação da Terra $\begin{cases} 19856\ ^{238}U \\ x\ ^{235}U \end{cases}$

No momento da formação da Terra $\begin{cases} 9928\ ^{238}U \\ 72\ ^{235}U \end{cases}$

$$x\ {}^{238}U \xrightarrow{4,5 \times 10^9 \text{ anos}} 72\ {}^{235}U$$

$\dfrac{x}{72} = 2^n$ n = número de $t_{1/2}$ decorridos

$$n = \frac{4,5 \times 10^9 \text{ anos}}{7,07 \times 10^8 \text{ anos}} = 6,36 \text{ meias-vida.}$$

$\dfrac{x}{72} = 2^{6,36}$ $\therefore$ $\ell n\, x - \ell n\, 72 = 6,36\ \ell n\, 2$

$\boxed{\ell n\, x = \ell n\, 72 + 6,36\ \ell n\, 2}$ 1

Na tabela fornecida não é dado ℓn 72, mas é dado, $\ell n\, 7,2 = 1,974$

$\ell n\, 72 = \ell n\, (7,2 \times 10) = \ell n\, 7,2 + \ell n\, 10$

$\ell n\, 72 = 1,974 + 2,303 = 4,277$

A tabela forneceu $\ell n\, 2 = 0,693$. Substituindo em 1 temos:

$$\ell n\, x = 4,277 + (6,36 \times 0,693) = 8,68$$

A tabela não forneceu $\ell n > 2,293$ e, por isso, não permite determinar *diretamente* o valor de *x*.

Vamos usar um artifício para encontrar o valor de *x*.

1) $\ell n\, (\dfrac{x}{10}) = \ell n\, x - \ell n\, 10 = 8,68 - 2,30 = 6,38$

   A tabela não forneceu valores de $\ell n > 2,29$

2) $\ell n\, \dfrac{x}{100} = \ell n\, x - \ell n\, 10^2 = 8,68 - 2 \times 2,30 = 4,08$

   A tabela não forneceu valores de $\ell n > 2,29$

3) $\ell n\, \dfrac{x}{1000} = \ell n\, x - \ell n\, 10^3 = 8,68 - 3 \times 2,30 = 1,78$

   Dado da tabela: $\ell n\, 5,9 = 1,78$ $\therefore$ $x = 5,9$

   $\dfrac{x}{1000} = 5,9$ $\therefore$ $x = 5900\,{}^{238}U$

Na formação da Terra, cada $5900\,{}^{238}U$ se transformaram em $72({}^{235}U)$.

A abundância do ${}^{235}U$ na formação da Terra, em relação ao total de átomos de urânio, expressa em % será:

$\dfrac{5900}{5900 + 19856} = 0,229 = 22,9\%$ (*Resposta*)

9. (IME) Inicia-se um determinado experimento colocando-se uma massa m_x(g) de um radionuclídeo X de meia vida $t_{1/2}$ (s) dentro de um balão de volume V_b(m^3), que se encontra à pressão atmosférica, como mostrado na Figura 1. Este experimento é conduzido isotermicamente à temperatura T_b(K).O elemento X é um alfa emissor e gera Y, sendo este estável, de acordo com a seguinte equação:

$$X \longrightarrow Y + {}^4_2He$$

Considerando que apenas uma percentagem p do hélio formado difunde-se para fora da misturados sólidos X e Y, determine a altura h (em metros) da coluna de mercúrio apresentada na Figura 2, depois de decorrido um tempo t (em segundos) do início do experimento.

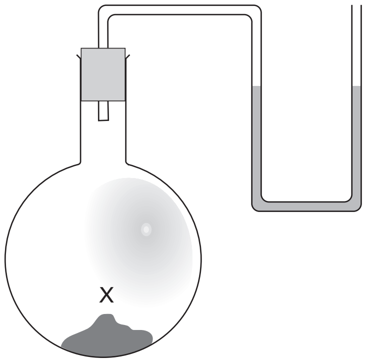


Figura 1

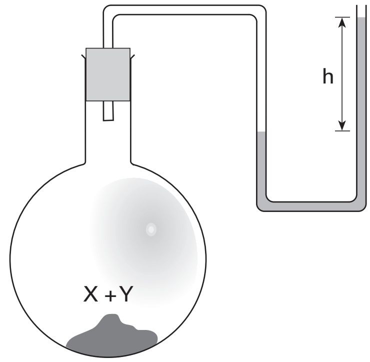


Figura 2

Utilize a seguinte notação:
massa molecular de X = M_x(g);
densidade do mercúrio = ρ(kg/m^3);
aceleração da gravidade = g (m/s^2);
constante dos gases perfeitos = R (Pa.m^3/mol.K)

Resolução:

n_x inicial = n_0 mol $\therefore$ n_x depois de *t* segundos = $n_0 e^{-kt}$

n_x desintegrado depois de *t* s = $n_0 - n_0 e^{-kt} = n_{He}$ formado.

Somente p% do n_{He} se separa do (X + Y) sólidos

n_{He}(g) dentro do balão = 0,01p ($n_0 - n_0 e^{-kt}$) mol

Pressão do He(g) dentro do balão = $\dfrac{n_{He}\,RT_b}{V_b} = P_b$

Como não foi fornecido o valor de R, vamos calcula-lo nas unidades convenientes aos dados do enunciado da questão.

$$n = 1 \text{ mol de gás (ideal)} \begin{cases} V = 22{,}4 \times 10^{-3}\ \text{m}^3 \\ P = 1\ \text{atm} = 0{,}760\ \text{m de Hg} \\ T = 273\ \text{K} \end{cases}$$

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{0{,}760\ \text{m de Hg} \times 22{,}4 \times 10^{-3}\ \text{m}^3}{1\ \text{mol} \times 273\ \text{K}} = 6{,}2 \times 10^{-5}\ \text{mHg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$P_{He} = \frac{nRT}{V} = \frac{[0{,}01p\,(n_0 - n_0 e^{-kt})]\ \cancel{\text{mol}} \times [6{,}2 \times 10^{-5}\ \text{mHg} \cdot \cancel{\text{m}^3} \cdot \cancel{\text{mol}^{-1}} \cdot \cancel{\text{K}^{-1}}]T_b\cancel{\text{K}}}{V_b\,\cancel{\text{m}^3}}$$

$$P_{He} = \frac{6{,}2 \times 10^{-7}\ (n_0 - n_0 e^{-kt})T_b}{V_b}\ \text{mHg} = h$$

$$P_{He} = \frac{6{,}2 \times 10^{-7} \left(\dfrac{m_x}{M_x} - \dfrac{m_x}{M_x}\,e^{-kt}\right)T_b}{V_b}\ \text{mHg} = h$$

No enunciado da questão *não* foi dado k = constante radioativa e por isso na resposta da questão não pode aparecer k.

$k \cdot t_{1/2} = \ell n\ 2 = 0{,}693$

$$k = \frac{0{,}693}{t_{1/2}}$$

Substituindo o k da equação anterior temos

$$P_{He} = \frac{6{,}2 \times 10^{-7} \left(\frac{m_x}{M_x} - \frac{m_x}{M_x}\, e^{-(0{,}693/t_{1/2})t}\right) T_b}{V_b}\ \text{mHg} = h \ (\textit{Resposta})$$

10. (UERJ) A experiência de Rutherford mostrou que, ao atravessar uma lâmina delgada de ouro, em cada 10^5 partículas alfa uma é desviada com um ângulo médio superior a 90º.

Considerando que a lâmina de ouro possui 10^3 camadas de átomos e elaborando a hipótese de que esse desvio se deve à colisão de partículas alfa com um núcleo atômico, Rutherford foi capaz de estimar a ordem de grandeza do núcleo.

Se o raio do átomo é da ordem de 10^{-8}cm, qual a ordem de grandeza do raio do núcleo do átomo?

Resolução:

Sendo R = raio do átomo, r = raio do núcleo e considerando o átomo e o núcleo como esferas a probabilidade de a partícula α colidir com o núcleo é igual à razão das áreas das secções dessas esferas.

$$\text{Probabilidade de colisão} = \frac{\pi r^2}{\pi R^2} = \frac{r^2}{R^2}$$

No experimento foi utilizada um lâmina de ouro com espessura igual à de 10^3 camadas de átomos de ouro superpostas. Verificou-se no experimento que uma em cada 10^5 partículas α colidia com o núcleo de um átomo de ouro e sofria o desvio descrito. Se a lâmina de ouro tivesse apenas uma camada e não 10^3 camadas de átomos, a cada 10^8 partículas alfa uma atingiria o núcleo do átomo. Neste caso a probabilidade de uma partícula α colidir com o núcleo seria 10^3vezes menor, ou seja, seria de uma partícula α para cada 10^8 átomos de ouro.

$$\text{Probabilidade} = \frac{1}{10^8} = \frac{r^2}{R^2} \ \therefore\ \frac{1}{10^8} = \frac{r^2}{(10^{-8}\ \text{cm})^2}$$

$$r^2 = \frac{(10^{-8}\ \text{cm})^2}{10^8} = \frac{10^{-16}\ \text{cm}^2}{10^8} = 10^{-24}\ \text{cm}^2$$

$$r = \sqrt{10^{-24}\ \text{cm}^2} = 10^{-12}\text{cm} \quad (\textit{Resposta})$$