

QUESTÕES RESOLVIDAS DE RADIOATIVIDADE - PARTE 3

01. (Ufpe 2013) Elementos radioativos são muito utilizados em medicina para procedimentos de radioterapia, para realização de diagnósticos por imagens e para rastreamento de fármacos. Um dos mais importantes radionuclídeos para geração de imagens é o  $^{99}_{43}\text{Tc}$ . Na radioterapia, podemos citar o uso de  $^{131}_{53}\text{I}$  (emissor  $\beta$  com meia-vida de 8 dias) no tratamento de câncer da tireoide. Para realização de imagens da tireoide, por outro lado, o  $^{123}_{53}\text{I}$  é frequentemente empregado. Com base nessas informações, analise as proposições a seguir.

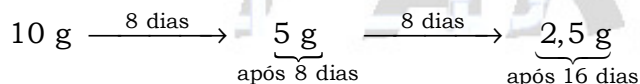
- ( ) Uma amostra contendo 10 g de  $^{131}_{53}\text{I}$ , após 16 dias conterá 5 g de  $^{131}_{53}\text{I}$ .
- ( ) Uma amostra contendo 10 g de  $^{131}_{53}\text{I}$ , após 8 dias, conterá 5 g de um nuclídeo com número atômico 54 e número de massa 131.
- ( )  $^{131}_{53}\text{I}$  e  $^{123}_{53}\text{I}$  são isótopos do iodo.
- ( )  $^{99}_{43}\text{Tc}$  possui 43 nêutrons e 56 prótons.
- ( ) A camada de valência do tecnécio neutro deve apresentar uma distribuição eletrônica semelhante à do manganês ( $Z = 25$ ).

**Resolução:**

F - V - V - F - V.

Teremos:

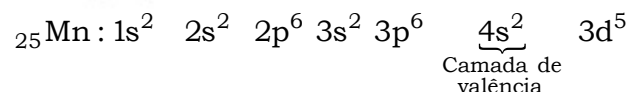
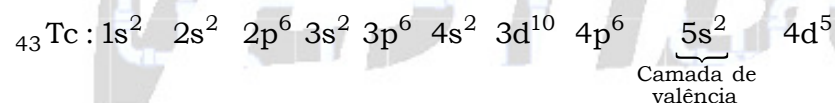
$^{131}_{53}\text{I}$  (emissor  $\beta$  com meia-vida de 8 dias):



$^{99}_{43}\text{Tc}$  } 43 prótons

$^{99}_{43}\text{Tc}$  }  $99 - 43 = 56$  nêutrons

Distribuições eletrônicas semelhantes na camada de valência :



02. (Uel 2013) Leia o texto a seguir.

A autenticidade do Santo Sudário, manto considerado sagrado pelos católicos, foi, muitas vezes, posta em dúvida. Recentemente, alguns estudos de laboratório parecem fornecer evidências de que a imagem no lençol não passava de uma fabricação feita para iludir os crentes ainda na Idade Média. Em 1988, pesquisadores tiveram acesso a retalhos do tecido e os submeteram ao exame de Carbono-14, constatando que o Santo Sudário foi criado entre 1260 e 1390. O Carbono-14 ( ${}^6\text{C}^{14}$ ) é um isótopo radioativo presente em todos os seres vivos e, enquanto existir vida, a taxa de  ${}^6\text{C}^{14}$

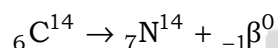
permanece constante. Após a morte, a quantidade de  ${}^6\text{C}^{14}$  tende a diminuir pela metade a cada 5600 anos, pois ocorre a desintegração  ${}^6\text{C}^{14} \rightarrow {}^7\text{N}^{14} + {}_{-1}\beta^0$ .

(Adaptado de: *Veja*, Editora Abril, 2263.ed., ano 45, n.14, 4 abr. 2012.)

Em relação ao processo de datação por meio do exame de Carbono-14, assinale a alternativa correta.

- a) O nitrogênio  ${}^7\text{N}^{14}$  proveniente da desintegração do  ${}^6\text{C}^{14}$ , presente no tecido, é um isóbaro do  ${}^6\text{C}^{14}$  e possui 7 prótons e 7 nêutrons.
- b) Na emissão de partículas  ${}_{-1}\beta^0$  após 10 ciclos de meia vida, a massa de  ${}^6\text{C}^{14}$  permanece a mesma, portanto é inútil medir a massa do tecido como prova da sua idade.
- c) A massa atômica do  ${}^6\text{C}^{14}$  é a mesma do  ${}^6\text{C}^{12}$ , no entanto o átomo de  ${}^6\text{C}^{14}$  faz duas ligações covalentes simples com átomos de hidrogênio, o que permite sua identificação no tecido.
- d) Decorridos 750 anos, a amostra radioativa de  ${}^6\text{C}^{14}$  no tecido teve sua massa reduzida a 25% da inicial. Logo, transcorreram-se 4 períodos de meia vida.
- e) Se um contador Geiger acusa 12% do segundo período de meia vida do  ${}^6\text{C}^{14}$  presente no tecido, conclui-se que sua idade é de aproximadamente 660 anos.

**Resolução:** Alternativa A



O nitrogênio  ${}^7\text{N}^{14}$  proveniente da desintegração do  ${}^6\text{C}^{14}$ , presente no tecido, é um isóbaro do  ${}^6\text{C}^{14}$  (mesmo número de massa) e possui 7 prótons e 7 nêutrons ( ${}^7\text{N}^{14}$  :  $14 - 7$  prótons = 7 nêutrons).

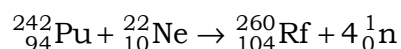
**03.** (Uerj 2013) A reação nuclear entre o  ${}^{242}\text{Pu}$  e um isótopo do elemento químico com maior energia de ionização localizado no segundo período da tabela de classificação periódica produz o isótopo  ${}^{260}\text{Rf}$  e quatro partículas subatômicas idênticas.

Apresente a equação dessa reação nuclear e indique o número de elétrons do ruterfórdio (Rf) no estado fundamental.

**Resolução:**

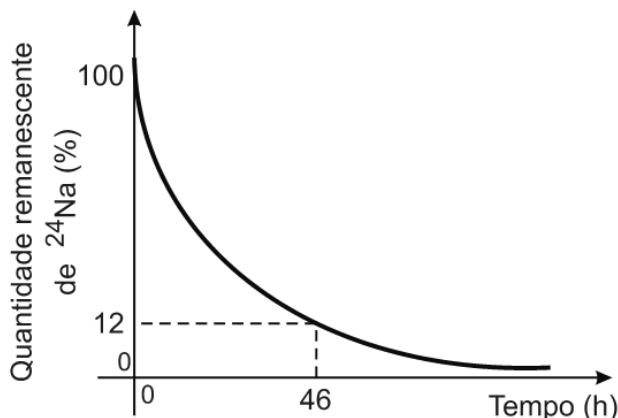
Dentro de um período, o potencial ou energia de ionização cresce da esquerda para a direita em função da diminuição do raio atômico. Sendo assim, no segundo período, o elemento que apresenta maior energia de ionização é o neônio. Há 3 isótopos do neônio com números de massa 20, 21 e 22. Para que haja a produção de 4 partículas subatômicas idênticas, o isótopo usado deverá ser o neônio-22.

Assim, podemos então montar a equação solicitada:



No estado fundamental, o ruterfórdio deverá apresentar a mesma quantidade de prótons e elétrons, ou seja, 104.

04. (Ime 2013) Considere o decaimento radioativo do  $^{24}\text{Na}$  como um processo cinético de 1ª ordem, conforme mostrado no gráfico abaixo.



Para este radioisótopo, determine:

- a constante de decaimento,  $k$ ; e
- o tempo de meia-vida, em horas.

**Resolução:**

a) Como a curva de desintegração radioativa é exponencial, podemos usar a cinética de desintegração de primeira ordem:

$$N = N_0 \times e^{-kt}$$

Onde:

$N$ : quantidade de átomos não desintegrados = 12 %

$N_0$ : quantidade de inicial de átomos radioativos = 100 %

$$N = N_0 \times e^{-kt}$$

$$12 = 100 \times e^{-k \times 46}$$

$$e^{-k \times 46} = \frac{12}{100}$$

$$e^{-k \times 46} = \frac{3}{25}$$

$$e^{-k \times 46} = \frac{3}{5^2}$$

$$\ln e^{-k \times 46} = \ln \left( \frac{3}{5^2} \right)$$

$$-k \times 46 = \ln \left( \frac{3}{5^2} \right)$$

$$-k \times 46 = \ln 3 - \ln 5^2$$

$$-k \times 46 = \ln 3 - 2 \ln 5$$

$$-k \times 46 = 1,099 - 2 \times 1,609$$

$$-k \times 46 = -2,119$$

$$k = 0,046 \text{ h}^{-1} = 4,6 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$$

b) No tempo de meia-vida a quantidade de átomos cai pela metade, ou seja,  $N = N_0/2$ , então:

$$\ln N_0 - \ln N = kt$$

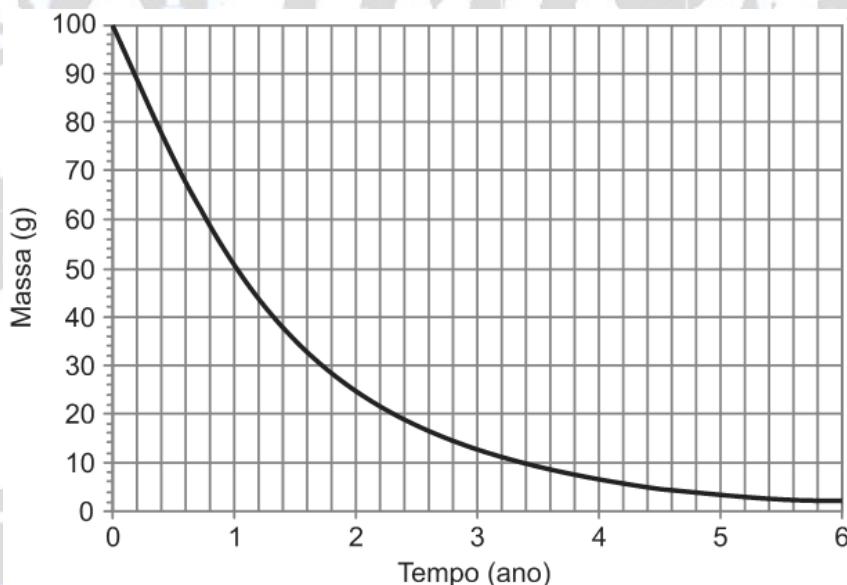
$t(1/2)$  = tempo de meia-vida

$$\ln N_0 - \ln \frac{N_0}{2} = k \cdot t(1/2)$$

$$k \cdot t(1/2) = \ln \frac{N_0}{\frac{N_0}{2}} \Rightarrow k \cdot t(1/2) = \ln 2 \Rightarrow k \cdot t(1/2) = 0,693$$

$$t(1/2) = \frac{0,693}{k} = \frac{0,693}{0,046} = 15,07 \text{ h}$$

05. (Pucrj 2013) O gráfico abaixo se refere ao decaimento espontâneo de uma amostra de um dado isótopo radioativo com a abscissa indicando o tempo, em anos, e a ordenada indicando a massa, em gramas, do isótopo:

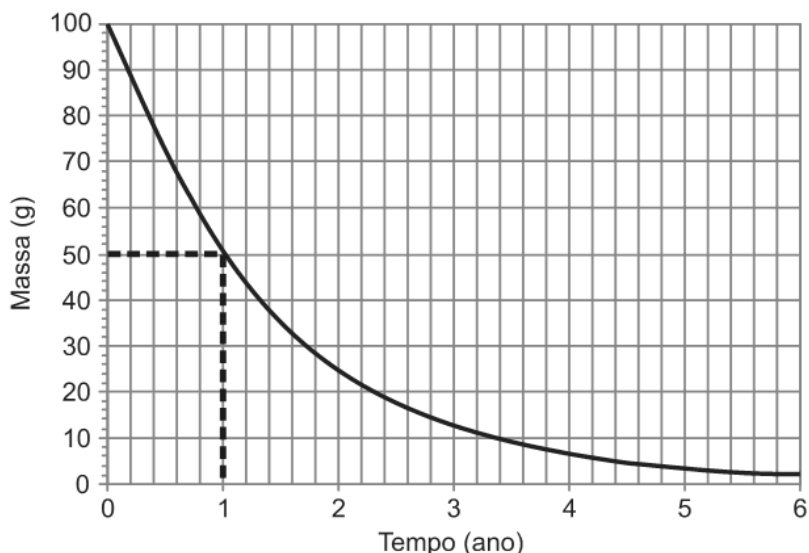


Partindo de 180 g de uma amostra desse isótopo radioativo, o que restará dela, em gramas, após dois anos é aproximadamente igual a:

- a) 5,6
- b) 11
- c) 22
- d) 45
- e) 90

**Resolução:** Alternativa D

Observe no gráfico abaixo o ponto marcado. Esse ponto corresponde ao tempo necessário para que metade da massa inicial do material sofra decaimento, ou seja, o tempo de meia-vida.



Portanto, podemos concluir que:

$$180 \text{ g} \xrightarrow{1 \text{ ano}} 90 \text{ g} \xrightarrow{1 \text{ ano}} 45 \text{ g}.$$

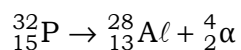
**06.** (Ufg 2013) A substância  $^{32}\text{P}$  é uma espécie radioativa utilizada no tratamento radioterápico de alguns tipos de câncer. Essa substância emite partículas alfa que possuem energia suficiente para combater as células infectadas. Ao introduzir  $10 \mu\text{g}$  de  $^{32}\text{P}$  no organismo, o número de átomos e a massa atômica do produto formado após decaimento radioativo são, respectivamente,

**Dado:** Constante de Avogadro =  $6 \times 10^{23}$ .

- a)  $1,9 \times 10^{23}$  e 36.
- b)  $1,9 \times 10^{21}$  e 36.
- c)  $2,1 \times 10^{19}$  e 32.
- d)  $2,1 \times 10^{17}$  e 28.
- e)  $2,1 \times 10^{15}$  e 28.

**Resolução:** Alternativa D

Podemos representar o decaimento alfa da seguinte forma:



Assim, o produto formado apresenta número de massa 28.

Calculando o número de átomos presentes em  $10 \mu\text{g}$  desse elemento.

$$\begin{aligned} 28 \text{ g} &\text{ ————— } 6 \times 10^{23} \text{ átomos} \\ 10 \times 10^{-6} \text{ g} &\text{ ————— } n \\ n &= 2,1 \times 10^{17} \text{ átomos.} \end{aligned}$$

07. (Ime 2013) Com relação às emissões radioativas observadas no planeta Terra, assinale a alternativa correta:

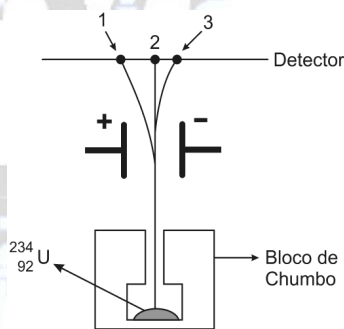
- a) A emissão de uma partícula  $\alpha$  resulta em um elemento situado em uma posição imediatamente à direita do elemento original, na tabela periódica.
- b) A radiação  $\gamma$  frequentemente acompanha uma emissão  $\alpha$  ou  $\beta$ .
- c) Raios  $\gamma$  são radiações eletromagnéticas, de comprimento de onda superior ao da luz visível, cuja emissão não resulta em mudanças do número atômico ou do número de massa do elemento.
- d) As reações de fusão nuclear ocorrem quando núcleos de átomos pesados, como urânio ou tório, são bombardeados com nêutrons, quebrando-se em átomos menores e liberando energia e radioatividade.
- e) O decaimento  $\alpha$  se deve à alta instabilidade do núcleo de  ${}^4_2\text{He}$ , o que faz com que este se separe facilmente de núcleos maiores.

**Resolução:** Alternativa B

A radiação  $\gamma$  frequentemente acompanha uma emissão  $\alpha$  ou  $\beta$ .

Observação teórica: Em 1899, Ernest Rutherford, que trabalhava no Cavendish Laboratory de Cambridge sob a direção de J. J. Thomson começou a estudar a radiação proveniente do urânio e percebeu a existência de dois tipos diferentes, um ele chamou de radiação  $\alpha$  (alfa) e o outro de  $\beta$  (beta). Na mesma época um pesquisador francês chamado P. Villard anunciou que o urânio emitia um terceiro tipo de radiação chamado de  $\gamma$  (gama).

Observe o esquema dos experimentos que demonstram a presença destes três raios emitidos por minerais radioativos naturais na figura a seguir.

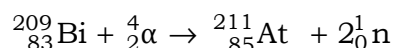


08. (Uerj 2012) A quantidade total de astato encontrada na crosta terrestre é de 28 g, o que torna esse elemento químico o mais raro no mundo. Ele pode ser obtido artificialmente através do bombardeamento do bismuto por partículas alfa.

Escreva a equação nuclear balanceada de obtenção do  ${}^{211}_{85}\text{At}$  a partir do  ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ . Calcule, também, o número de átomos de astato na crosta terrestre.

**Resolução:**

Equação nuclear balanceada de obtenção do  ${}^{211}_{85}\text{At}$  a partir do  ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ :



A quantidade total de astato encontrada na crosta terrestre é de 28 g, então:

210 g (Astató) —  $6,0 \times 10^{23}$  átomos

28 g (Astató) —  $n_{\text{At}}$

$n_{\text{At}} = 8,0 \times 10^{22}$  átomos

**09.** (Ufu 2012) Leia os versos do poema “A bomba atômica”, de Vinícius de Moraes.

A bomba atômica é triste, coisa mais triste não há

Quando cai, cai sem vontade, vem caindo devagar

Tão devagar vem caindo, que dá tempo a um passarinho de pousar nela e voar...

Coitada da bomba atômica, que não gosta de matar!

Coitada da bomba atômica, que não gosta de matar

Mas que ao matar mata tudo, animal e vegetal

Que mata a vida da terra e mata a vida do ar

Mas que também mata a guerra...

Bomba atômica que aterr! Bomba atônita da paz!

Pomba tonta, bomba atômica, tristeza, consolação

Flor puríssima do urânio desabrochada no chão

Da cor pálida do hélio e odor de rádio fatal

Loelia mineral carnívora, radiosa rosa radical.

Nunca mais oh bomba atômica, nunca em tempo algum, jamais

Seja preciso que mates onde houve morte demais:

Fique apenas tua imagem, aterradora miragem

Sobre as grandes catedrais: guarda de uma nova era

Arcanjo insigne da paz!

<[www.casadobruzo.com.br/poesia/vbomba.htm](http://www.casadobruzo.com.br/poesia/vbomba.htm)>. Acesso em: 3 jul. 2012.

Os versos de Vinícius de Moraes, sobre a bomba atômica, mostram que

- o material radioativo retratado no poema tem uma massa crítica de sais de hélio.
- o processo de detonação da bomba atômica, conhecido por fusão nuclear, libera partículas alfa, beta e radiação gama.
- o decaimento natural do rádio pode explicar o funcionamento desta ogiva nuclear.
- as emissões radioativas exercem efeitos danosos e até letais em organismos vivos – vegetais e animais.

**Resolução:** Alternativa D

A radiação e a emissão de partículas nucleares originadas da fissão nuclear que ocorre na explosão da bomba geram efeitos mutagênicos e deletérios a quaisquer organismos vivos que estejam no raio de ação do armamento nuclear.

O material radioativo usado na bomba é o Urânio que, por fissão, emite partículas alfa (citadas no texto como hélio), gerando rádio como produto da transmutação.

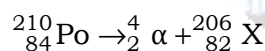
10. (Unifesp 2012) 2011 é o Ano Internacional da Química; neste ano, comemoram-se também os 100 anos do recebimento do Prêmio Nobel de Química por Marie Curie, pela descoberta dos elementos químicos rádio e polônio. Ela os obteve purificando enormes quantidades de minério de urânio, pois esses elementos estão presentes na cadeia de decaimento do urânio-238. Vários radionuclídeos dessa cadeia emitem partículas alfa ( ${}^4_2\alpha$ ) ou beta negativa ( $\beta^-$ ).

a) O Po-210 decai por emissão alfa com meia-vida aproximada de 140 dias, gerando um elemento estável. Uma amostra de Po-210 de altíssima pureza foi preparada, guardada e isolada por 280 dias. Após esse período, quais elementos químicos estarão presentes na amostra e em que proporção, em número de átomos?

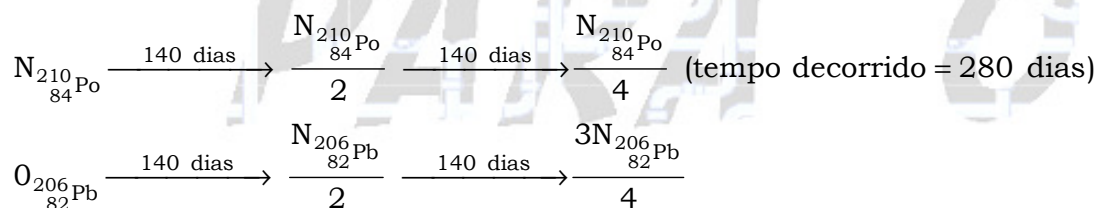
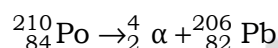
b) Qual o número de partículas alfa e o número de partículas beta negativa que são emitidas na cadeia de decaimento que leva de um radionuclídeo de Ra-226 até um radionuclídeo de Po-210? Explique.

**Resolução:**

a) Teremos o seguinte decaimento radioativo (em número de átomos N):



X = Pb (tabela periódica), então :

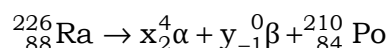


Proporção :

$$\frac{N_{{}^{210}_{84}\text{Po}}}{4} : \frac{3N_{{}^{206}_{82}\text{Pb}}}{4} \Rightarrow N_{{}^{210}_{84}\text{Po}} : 3N_{{}^{206}_{82}\text{Pb}}$$

Dados:  ${}^{210}_{84}\text{Po}$ ;  ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ ;  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ .

b) Teremos:



$$226 = 4x + 0y + 210 \Rightarrow x = 4$$

$$88 = 2x - y + 84 \Rightarrow 88 = 2 \cdot 4 - y + 84 \Rightarrow y = 4$$



11. (Ufpr 2012) A datação de objetos pode se basear em diversos métodos, sendo o método por radioisótopos, em especial carbono-14, um dos mais conhecidos e empregados para artefatos arqueológicos. Em estudos sobre o histórico de contaminação ambiental, que datam desde a Revolução Industrial, o radionuclídeo natural  $^{210}\text{Pb}$  tem sido utilizado para se estimar a data de deposição de sedimentos contaminados em lagos e estuários. O  $^{210}\text{Pb}$  possui tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) de 22,5 anos e é mais adequado para datação de eventos recentes que o  $^{14}\text{C}$ , cujo  $t_{1/2} = 5.730$  anos. Acerca desse assunto:

a) Explique o que é tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ).

b) Considerando que o sedimento a ter sua data estimada apresenta atividade de  $^{210}\text{Pb}$  equivalente a 12,5% da atividade no momento da deposição ( $t = 0$ ), qual a idade do sedimento?

**Resolução:**

a) Meia-vida é o tempo necessário para que a atividade de um elemento radioativo reduza à metade da atividade inicial ou para que metade da amostra se decomponha.

b) Teremos:

$$100\% \xrightarrow{22,5 \text{ anos}} 50\% \xrightarrow{22,5 \text{ anos}} 25\% \xrightarrow{22,5 \text{ anos}} 12,5\%$$

$$\text{Tempo} = 3 \times 22,5 \text{ anos} = 67,5 \text{ anos}$$

12. (Unesp 2012) Durante sua visita ao Brasil em 1928, Marie Curie analisou e constatou o valor terapêutico das águas radioativas da cidade de Águas de Lindoia, SP. Uma amostra de água de uma das fontes apresentou concentração de urânio igual a  $0,16 \mu\text{g/L}$ . Supondo que o urânio dissolvido nessas águas seja encontrado na forma de seu isótopo mais abundante,  $^{238}\text{U}$ , cuja meia-vida é aproximadamente  $5 \times 10^9$  anos, o tempo necessário para que a concentração desse isótopo na amostra seja reduzida para  $0,02 \mu\text{g/L}$  será de

- a)  $5 \times 10^9$  anos
- b)  $10 \times 10^9$  anos
- c)  $15 \times 10^9$  anos
- d)  $20 \times 10^9$  anos
- e)  $25 \times 10^9$  anos

**Resolução:** Alternativa C

Teremos:

$$0,16 \mu\text{g/L} \xrightarrow{5 \times 10^9 \text{ anos}} 0,08 \mu\text{g/L} \xrightarrow{5 \times 10^9 \text{ anos}} 0,04 \mu\text{g/L} \xrightarrow{5 \times 10^9 \text{ anos}} 0,02 \mu\text{g/L}$$

$$\text{Tempo total} = 3 \times 5 \times 10^9 \text{ anos} = 15 \times 10^9 \text{ anos}$$

13. (Enem 2012) A falta de conhecimento em relação ao que vem a ser um material radioativo e quais os efeitos, consequências e usos da irradiação pode gerar o medo e a tomada de decisões equivocadas, como a apresentada no exemplo a seguir.

“Uma companhia aérea negou-se a transportar material médico por este portar um certificado de esterilização por irradiação”.

*Física na Escola*, v. 8, n. 2, 2007 (adaptado).

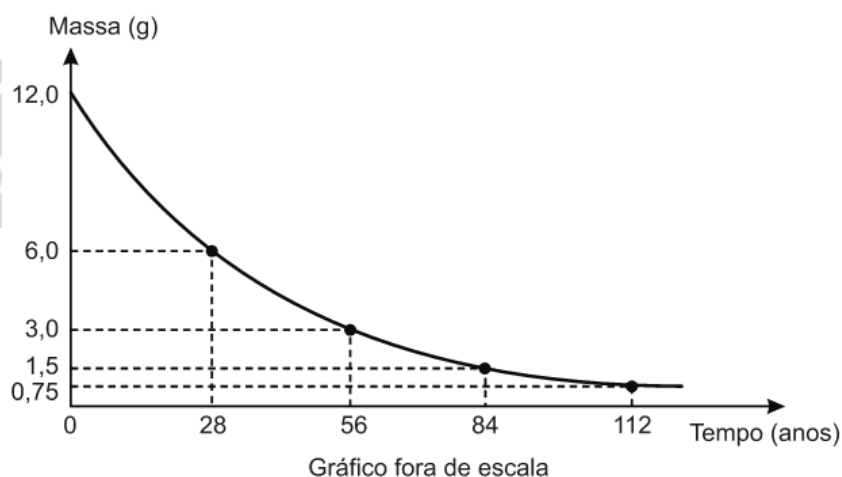
A decisão tomada pela companhia é equivocada, pois

- a) o material é incapaz de acumular radiação, não se tornando radioativo por ter sido irradiado.
- b) a utilização de uma embalagem é suficiente para bloquear a radiação emitida pelo material.
- c) a contaminação radioativa do material não se prolifera da mesma forma que as infecções por microrganismos.
- d) o material irradiado emite radiação de intensidade abaixo daquela que ofereceria risco à saúde.
- e) o intervalo de tempo após a esterilização é suficiente para que o material não emita mais radiação.

**Resolução:** Alternativa A

O material médico não pode acumular radiação, ou seja, não se torna radioativo por ter sido irradiado. A decisão tomada pela companhia foi equivocada.

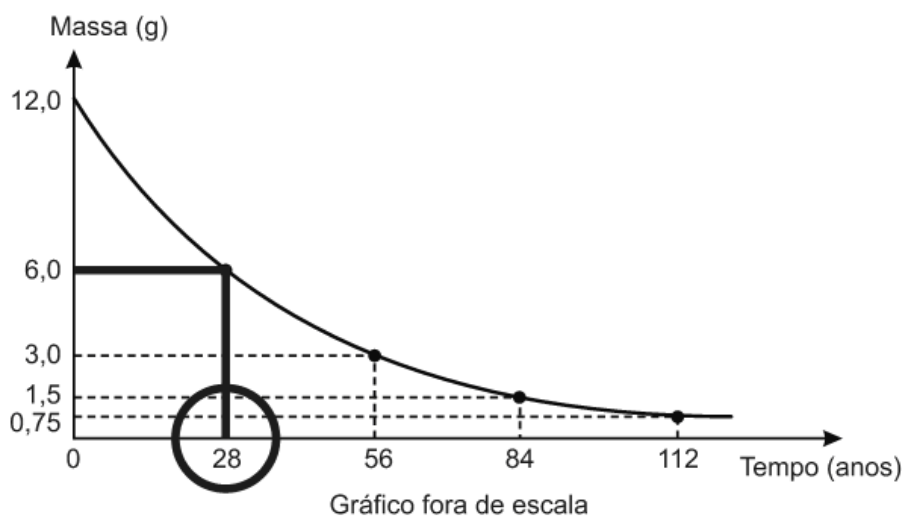
14. (Espcex (Aman) 2012) Considere o gráfico de decaimento, abaixo, (Massa X Tempo) de 12 g de um isótopo radioativo. Partindo-se de uma amostra de 80,0 g deste isótopo, em quanto tempo a massa dessa amostra se reduzirá a 20,0 g?



- a) 28 anos
- b) 56 anos
- c) 84 anos
- d) 112 anos
- e) 124,5 anos

**Resolução:** Alternativa B

Podemos calcular o tempo de meia vida a partir do gráfico:



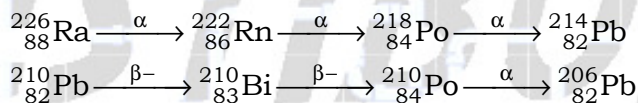
**Meia-vida = 28 anos**



Tempo = 2 × meia-vida

Tempo = 2 × 28 anos = 56 anos

**15.** (Ufpr 2012) Em 2011 celebramos o Ano Internacional da Química. Além disso, 2011 é também o ano do centenário do recebimento do Prêmio Nobel de Química por Marie Curie, que foi a primeira cientista a receber dois Prêmios Nobel, o primeiro em 1903, em Física, devido às suas contribuições para as pesquisas em radioatividade, e o segundo em 1911, pela descoberta dos elementos rádio e polônio. O polônio não possui isótopos estáveis, todos são radioativos, dos quais apenas o  $^{210}\text{Po}$  ocorre naturalmente, sendo gerado por meio da série de decaimento do rádio. A seguir são ilustrados dois trechos da série de decaimento do rádio:



$$t_{1/2} = 138,38 \text{ dias}$$

Com base nas informações fornecidas, considere as seguintes afirmativas:

1. A partícula  $\alpha$  possui número de massa igual a 4.
2. Para converter  $^{214}\text{Pb}$  em  $^{210}\text{Pb}$ , conectando os dois trechos da série, basta a emissão de uma partícula  $\alpha$ .
3. Uma amostra de  $^{210}\text{Po}$  será totalmente convertida em  $^{206}\text{Pb}$  após 276,76 dias.
4. No decaimento  $\beta^-$ , o número de massa é conservado, pois um nêutron é convertido em um próton.

Assinale a alternativa correta.

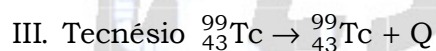
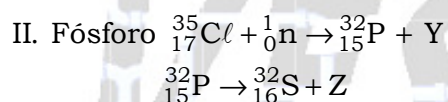
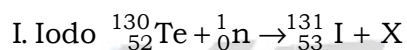
- a) Somente a afirmativa 3 é verdadeira.
- b) Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas 1, 2 e 4 são verdadeiras.
- d) Somente as afirmativas 2, 3 e 4 são verdadeiras.
- e) Somente as afirmativas 1 e 4 são verdadeiras.

**Resolução:** Alternativa E

Análise das afirmativas:

1. Verdadeira. A partícula  $\alpha$  possui número de massa igual a 4 ( ${}^4_2\alpha$ ), equivale ao núcleo do átomo de hélio.
2. Falsa. Para converter  ${}^{214}\text{Pb}$  em  ${}^{210}\text{Pb}$ , conectando os dois trechos da série, é necessária a emissão de uma partícula  $\alpha$  e de duas partículas beta:  ${}^{214}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{210}_{82}\text{Pb} + {}^4_2\alpha + 2\cdot {}^0_{-1}\beta$ .
3. Falsa. Uma amostra de  ${}^{210}\text{Po}$  será totalmente convertida em 75 % de  ${}^{206}\text{Pb}$  após 276,76 dias (duas meias-vidas).
4. Verdadeira. No decaimento  $\beta^-$ , o número de massa é conservado, pois um nêutron é convertido em um próton.

**16.** (Uern 2012) “Não é apenas na medicina que a radioatividade encontra aplicações práticas. Ela pode ser utilizada também para esterilizar alimentos em geral, detectar vazamentos em tubulações, analisar a espessura de chapas e estudar o mecanismo de reações químicas e bioquímicas”. São dadas três reações nucleares:

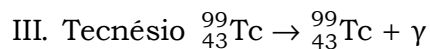
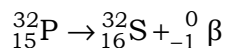
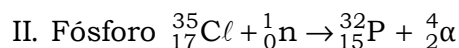
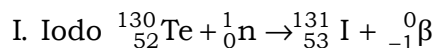


Assinale a alternativa que apresenta, respectivamente, os significados de X, Y, Z e Q nas reações I, II e III.

- a)  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\gamma$ .
- b)  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha$ .
- c)  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\beta$ .
- d)  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

**Resolução:** Alternativa D

Teremos:



**17.** (Fuvest 2012) A seguinte notícia foi veiculada por ESTADAO.COM.BR/Internacional na terça-feira, 5 de abril de 2011: *TÓQUIO - A empresa Tepco informou, nesta terça-feira, que, na água do mar, nas proximidades da usina nuclear de Fukushima, foi detectado nível de iodo radioativo cinco milhões de vezes superior ao limite legal, enquanto o césio-137 apresentou índice 1,1 milhão de vezes maior. Uma amostra recolhida no início de segunda-feira, em uma área marinha próxima ao reator 2 de Fukushima, revelou uma concentração de iodo-131 de 200 mil becquerels por centímetro cúbico.*

Se a mesma amostra fosse analisada, novamente, no dia 6 de maio de 2011, o valor obtido para a concentração de iodo-131 seria, aproximadamente, em Bq/cm<sup>3</sup>,

**Note e adote:** Meia-vida de um material radioativo é o intervalo de tempo em que metade dos núcleos radioativos existentes em uma amostra desse material decaem. A meia-vida do iodo-131 é de 8 dias.

- a) 100 mil.
- b) 50 mil.
- c) 25 mil.
- d) 12,5 mil.
- e) 6,2 mil.

**Resolução:** Alternativa D

Período de tempo (5 de abril a 6 de maio) = 32 dias

8 dias — 1 meia-vida

32 dias — n

n = 4 meias-vidas

$$200 \text{ mil } \frac{\text{Bq}}{\text{cm}^3} \xrightarrow{8 \text{ dias}} 100 \text{ mil } \frac{\text{Bq}}{\text{cm}^3} \xrightarrow{8 \text{ dias}} 50 \text{ mil } \frac{\text{Bq}}{\text{cm}^3} \xrightarrow{8 \text{ dias}} 25 \text{ mil } \frac{\text{Bq}}{\text{cm}^3} \xrightarrow{8 \text{ dias}} 12,5 \text{ mil } \frac{\text{Bq}}{\text{cm}^3}$$

**18.** (Ufpe 2012) Uma série de processos de decaimento radioativo natural tem início com o isótopo 238 de urânio (Z = 92). Após um processo de emissão de partículas alfa, seguido de duas emissões sucessivas de radiação beta, uma nova emissão de partícula alfa ocorre. Com base nessas informações analise as proposições a seguir.

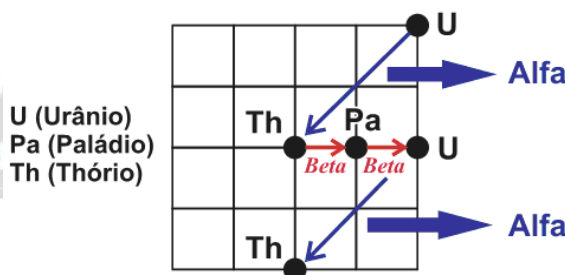
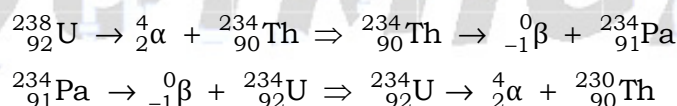
- ( ) O isótopo 238 do urânio possui 148 nêutrons.
- ( ) O elemento que emite a segunda partícula alfa, na série, possui número de massa 230, e não é um isótopo do urânio.
- ( ) O elemento que resulta da emissão alfa do urânio 238 é o isótopo 234 do elemento de número atômico 90.
- ( ) O elemento que resulta da última emissão de partícula alfa, descrita acima, possui 90 prótons e 140 nêutrons.
- ( ) O elemento resultante da segunda emissão beta é isóbaro do elemento resultante da primeira emissão alfa.

**Resolução:** F – F – V – V – V.

Análise das proposições:

(F) O isótopo 238 do urânio possui 146 nêutrons (238 - 92).

(F) O elemento que emite a segunda partícula alfa, na série, possui número de massa 234, e é um isótopo do urânio:



- (V) O elemento que resulta da emissão alfa do urânio 238 é o isótopo 234 do elemento de número atômico 90.
- (V) O elemento que resulta da última emissão de partícula alfa, descrita acima, possui 90 prótons e 140 nêutrons, é o  ${}_{90}^{230}\text{Th}$ .
- (V) O elemento resultante da segunda emissão beta é isóbaro do elemento resultante da primeira emissão alfa ( ${}_{92}^{234}\text{U}$  e  ${}_{90}^{234}\text{Th}$ ).

**19.** (Uerj 2012) Uma das consequências do acidente nuclear ocorrido no Japão em março de 2011 foi o vazamento de isótopos radioativos que podem aumentar a incidência de certos tumores glandulares. Para minimizar essa probabilidade, foram prescritas pastilhas de iodeto de potássio à população mais atingida pela radiação.

A meia-vida é o parâmetro que indica o tempo necessário para que a massa de uma certa quantidade de radioisótopos se reduza à metade de seu valor. Considere uma amostra de  ${}_{53}^{133}\text{I}$ , produzido no acidente nuclear, com massa igual a 2 g e meia-vida de 20 h. Após 100 horas, a massa dessa amostra, em miligramas, será cerca de:

- a) 62,5    b) 125    c) 250    d) 500

**Resolução:** Alternativa A

Teremos:

$$m_{\text{inicial}} = 2 \text{ g}$$

$$m_{\text{final}} = \frac{m_{\text{inicial}}}{2^n}$$

n = número de meias – vidas

p = meia – vida

tempo = n × p

$$100 \text{ h} = n \times 20 \text{ h}$$

$$n = 5$$

$$m_{\text{final}} = \frac{2 \text{ g}}{2^5} = \frac{1}{16} \text{ g} = 62,5 \text{ mg}$$

**20.** (Fuvest 2011) A seguinte declaração foi divulgada no jornal eletrônico *FOLHA.com – mundo* em 29/05/2010: “A vontade do Irã de enriquecer urânio a 20% em seu território nunca esteve sobre a mesa de negociações do acordo assinado por Brasil e Turquia com Teerã, afirmou nesta sexta-feira o ministro das Relações Exteriores brasileiro Celso Amorim”. Enriquecer urânio a 20%, como mencionado nessa notícia, significa

**NOTE E ADOTE**

As porcentagens aproximadas dos isótopos  $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$  existentes em uma amostra de urânio natural são, respectivamente, 99,3% e 0,7%.

- a) aumentar, em 20%, as reservas conhecidas de urânio de um território.
- b) aumentar, para 20%, a quantidade de átomos de urânio contidos em uma amostra de minério.
- c) aumentar, para 20%, a quantidade de  $^{238}\text{U}$  presente em uma amostra de urânio.
- d) aumentar, para 20%, a quantidade de  $^{235}\text{U}$  presente em uma amostra de urânio.
- e) diminuir, para 20%, a quantidade de  $^{238}\text{U}$  presente em uma amostra de urânio.

**Resolução:** Alternativa D

Enriquecer urânio a 20%, como mencionado nessa notícia, significa aumentar, para 20%, a quantidade de  $^{235}\text{U}$  presente em uma amostra de urânio.

**21.** (Uerj 2011) Considere a tabela a seguir, na qual são apresentadas algumas propriedades de dois radioisótopos, um do polônio e um do rádio.

Radioisótopo	Meia-vida (anos)	Partícula emitida
Polônio - 208	3	$\alpha$
Rádio - 224	6	$\beta$

Em um experimento, duas amostras de massas diferentes, uma de polônio-208 e outra de rádio-224, foram mantidas em um recipiente por 12 anos. Ao final desse período, verificou-se que a massa de cada um desses radioisótopos era igual a 50 mg.

Calcule a massa total, em miligramas, de radioisótopos presente no início do experimento.

Escreva também os símbolos dos elementos químicos formados no decaimento de cada um desses radioisótopos.

**Resolução:**

Polônio:

12 anos =  $4 \times 3$  anos (quatro meias-vidas)

4 meias-vidas: 800 mg  $\rightarrow$  400 mg  $\rightarrow$  200 mg  $\rightarrow$  100 mg  $\rightarrow$  50 mg

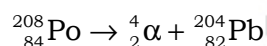
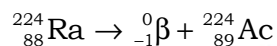
Rádio:

12 anos =  $2 \times 6$  anos (duas meias-vidas)

2 meias-vidas: 200 mg  $\rightarrow$  100 mg  $\rightarrow$  50 mg

Massa total: 800 + 200 = 1000 mg

Equações nucleares:



Os elementos químicos formados são Ac e Pb.

**22.** (Uftm 2011) Pesquisas na área nuclear são desenvolvidas no Brasil desde a década de 1960 e as reservas de urânio existentes permitem que o nosso país seja autossuficiente em combustível nuclear. A produção de energia em um reator nuclear ocorre através da reação, por exemplo, entre um núcleo de urânio-235 e um nêutron com energia adequada. Desta reação são formados, com maior probabilidade, os nuclídeos criptônio-92 e bário-142, além de três nêutrons que permitem que a reação prossiga em cadeia.

O urânio-235 ocorre na natureza e decai em várias etapas, através de transmutações sucessivas e formação de vários radionuclídeos intermediários, com meias-vidas que variam de fração de segundos a séculos, e com emissão de radiação em cada etapa. Este processo recebe o nome de série radioativa do urânio-235. Esta série termina com a formação do isótopo estável de chumbo-207, gerado na última etapa, a partir do decaimento por emissão de partícula alfa de um elemento radioativo com meia-vida de  $5 \times 10^{-3}$  segundos.

Para que a atividade do nuclídeo gerador do chumbo-207 diminua para 6,25% de seu valor inicial, são necessários que transcorram, em segundos,

- a)  $1 \times 10^{-3}$ .
- b)  $2 \times 10^{-2}$ .
- c)  $2 \times 10^{-3}$ .
- d)  $5 \times 10^{-2}$ .
- e)  $5 \times 10^{-3}$ .



**Resolução:** Alternativa B

Cálculo do número de meias-vidas necessárias para o decaimento:

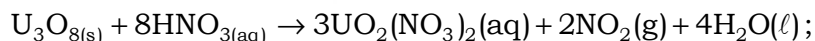
$$\frac{100\%}{2^n} = 6,25\% \Rightarrow 2^n = \frac{100}{6,25} = 16.$$

Portanto:  $2^n = 16 \therefore n = 4$  meias-vidas.

Cada meia-vida vale  $5 \times 10^{-3}$  segundos. Portanto, o tempo necessário para que a atividade seja reduzida a 6,35% vale  $20 \times 10^{-3}$  ou  $2 \times 10^{-2}$  segundos.

**23.** (Unb 2011) O ciclo do combustível nuclear compreende uma série de etapas, que englobam a localização do minério de urânio, seu beneficiamento, a conversão do óxido natural (mineral) em hexafluoreto, o enriquecimento isotópico (do isótopo  $^{235}_{92}\text{U}$  - altamente fissionável) e a fabricação do elemento combustível. As principais reações químicas envolvidas nesse ciclo estão listadas a seguir.

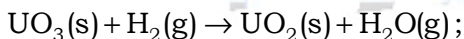
I. Dissolução do mineral bruto em ácido nítrico:



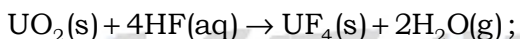
II. Calcinação (denitração):



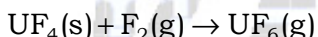
III. Redução à  $\text{UO}_2$  com hidrogênio:



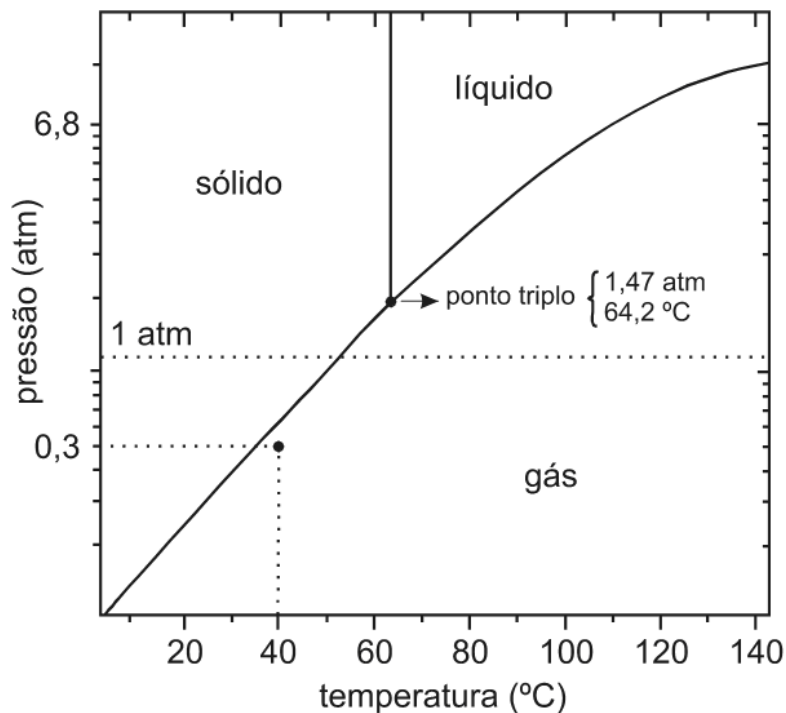
IV. Hidrofluoração em reator de contracorrente com HF anidro:



V. Fluoração em reatores de chama pela reação com flúor elementar:



O  $\text{UF}_6$  (hexafluoreto de urânio) obtido no ciclo do combustível nuclear é submetido à centrifugação a gás, enriquecendo a mistura de isótopos com  $^{235}\text{U}$ . Depois de enriquecido, é reconvertido a  $\text{UO}_2$  e prensado na forma de pastilha para ser usado como combustível nuclear. A figura abaixo ilustra o diagrama de fase do  $\text{UF}_6$ .



As tabelas I e II a seguir apresentam informações acerca do urânio. A tabela I apresenta isótopos do urânio, suas respectivas massas molares e seus teores no  $U_3O_8$  mineral. A tabela II informa acerca da localização e da concentração de urânio (em miligrama de urânio por quilograma de minério  $U_3O_8$ ) nas principais rochas fosfáticas no Brasil.

**Tabela I**

Símbolo do isótopo	% no $U_3O_8$	massa molar (g/mol)
$^{234}U$	0,006	234,04
$^{235}U$	0,720	235,04
$^{238}U$	99,274	238,05

**Tabela II**

Jazida	Estado	U (mg/kg)
Itatiaia	Ceará	1.800
Catalão	Goiás	200
Araxá	Minas Gerais	160
João Pessoa	Paraíba	100

A partir dessas informações, julgue os itens a seguir.

a) De acordo com os dados da tabela I, para se obter 10 g de  $^{235}\text{U}$ , é necessário utilizar mais de 1 kg de  $\text{U}_3\text{O}_8$  mineral.

b) Considere 1 mol de hexafluoreto de urânio, inicialmente a 25 °C e 1 atm, submetido aos seguintes procedimentos sequenciais:

I. aquecimento a pressão constante até 80 °C;

II. compressão isotérmica até 6,8 atm;

III. resfriamento a pressão constante até 50 °C.

De acordo com o diagrama de fase ilustrado, os processos de mudança de fase relacionados às etapas (I), (II) e (III) são, respectivamente, sublimação, liquefação e solidificação.

c) A água formada na reação III e o hexafluoreto de urânio obtido na reação V apresentam, respectivamente, as geometrias moleculares linear e octaédrica.

d) Na reação V, o urânio sofre oxidação e varia seu número de oxidação de +4 para +6.

e) Na série de decaimento radioativo que se inicia com  $^{235}_{92}\text{U}$  e termina com o  $^{207}_{82}\text{Pb}$ , são liberadas 7 partículas alfa e 2 partículas beta.

f) Considerando o  $\text{UF}_6$  como um gás ideal e a constante universal dos gases igual a  $0,082 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ , é correto concluir, a partir do diagrama de fase ilustrado, que 3,5 mol de  $\text{UF}_6$  a 0,3 atm e a 40 °C encontram-se no estado gasoso e ocupam volume maior que 250 litros.

g) Considerando que a tabela abaixo contém os dados para o decaimento alfa, de primeira ordem, do isótopo radioativo do estrôncio  $^{90}\text{Sr}$ , é correto afirmar que o tempo de meia-vida desse isótopo é de mais de 60 anos.

massa (g)	tempo (anos)
10,0	0
8,0	10
6,0	20
4,0	35
2,0	60
0,0	115

h) A energia liberada em um processo de fissão nuclear tem origem eletrostática.

**Resolução:**

Análise dos itens:

a) Correto. De acordo com os dados da tabela I, para se obter 10 g de  $^{235}\text{U}$ , é necessário utilizar mais de 1 kg de  $\text{U}_3\text{O}_8$  mineral.

Símbolo do isótopo	% no $U_3O_8$	massa molar (g/mol)
$^{235}U$	0,720	235,04

100 g de  $U_3O_8$  — 0,720 g de  $^{235}U$

m g de  $U_3O_8$  — 10 g de  $^{235}U$

$m = 1388,89 \text{ g} = 1,39 \text{ kg}$

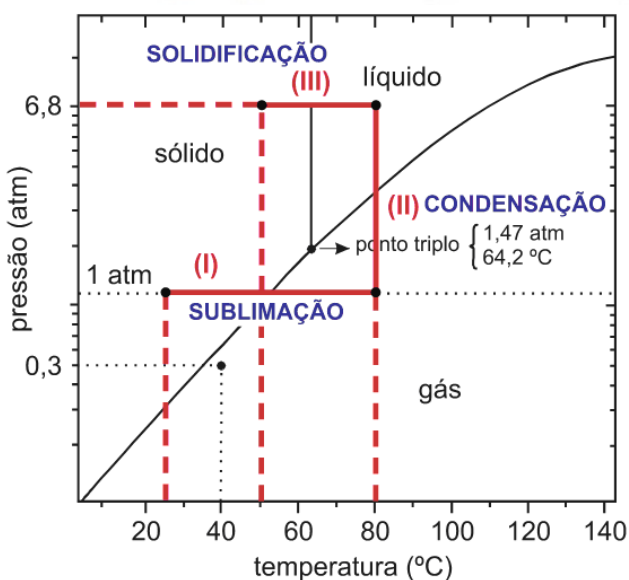
b) Correto. Considere 1 mol de hexafluoreto de urânio, inicialmente a 25 °C e 1 atm, submetido aos seguintes procedimentos sequenciais:

I. aquecimento a pressão constante até 80 °C;

II. compressão isotérmica até 6,8 atm;

III. resfriamento a pressão constante até 50 °C.

De acordo com o diagrama de fase ilustrado, os processos de mudança de fase relacionados às etapas (I), (II) e (III) são, respectivamente, sublimação, liquefação e solidificação:



c) Incorreto. A água formada na reação III e o hexafluoreto de urânio obtido na reação V apresentam, respectivamente, as geometrias moleculares angular e octaédrica.

d) Correto. Na reação V, o urânio sofre oxidação e varia seu número de oxidação de +4 para +6.

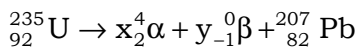
Nox (F) = -1  $\Rightarrow UF_4$  e  $UF_6$

Nox (F) = zero  $\Rightarrow F_2$

$UF_{4(s)} + F_{2(g)} \rightarrow UF_{6(g)}$

+4 ————— +6

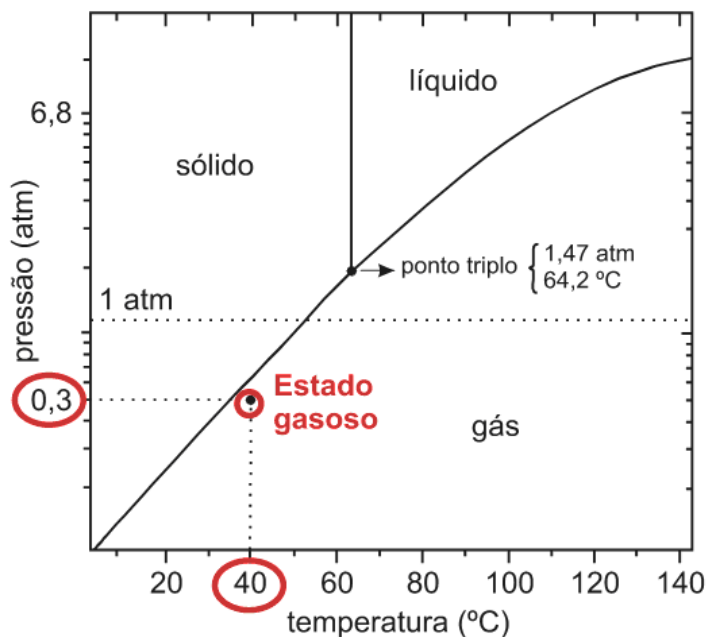
e) Incorreto. Na série de decaimento radioativo que se inicia com  $^{235}_{92}U$  e termina com o  $^{207}_{82}Pb$ , são liberadas 7 partículas alfa e 4 partículas beta:



$$235 = 4x + 0y + 207 \Rightarrow x = 7$$

$$92 = 2x - 1y + 82 \Rightarrow 92 = 2 \times 7 - 1y + 82 \Rightarrow y = 4$$

f) Correto. Considerando o  $\text{UF}_6$  como um gás ideal e a constante universal dos gases igual a  $0,082 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ , é correto concluir, a partir do diagrama de fase ilustrado, que 3,5 mol de  $\text{UF}_6$  a 0,3 atm e a  $40^\circ\text{C}$  encontram-se no estado gasoso e ocupam volume maior que 250 litros.



$$T = 40 + 273 = 313 \text{ K}$$

$$P \times V = n \times R \times T$$

$$0,3 \times V = 3,5 \times 0,082 \times 313$$

$$V = 299,44 \text{ L}$$

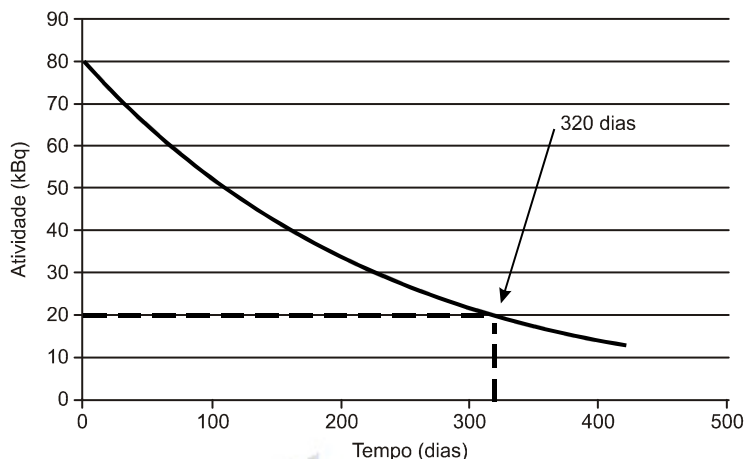
g) Incorreto. Considerando que a tabela abaixo contém os dados para o decaimento alfa, de primeira ordem, do isótopo radioativo do estrôncio<sup>90</sup>Sr, é correto afirmar que o tempo de meia-vida desse isótopo é de mais de 25 anos.

massa (g)	tempo (anos)	massa (g)	tempo (anos)
10,0	0	4,0	35
8,0	10	2,0	60
6,0	20	0,0	115

$$8,0 \text{ g} \xrightarrow{(35-10) \text{ 25 anos}} 4,0 \text{ g} \xrightarrow{(60-35) \text{ 25 anos}} 2,0 \text{ g}$$

h) Correto. A energia liberada em um processo de fissão nuclear tem origem eletrostática (os prótons têm carga positiva e se repelem).

24. (Unifesp 2010) No estudo do metabolismo ósseo em pacientes, pode ser utilizado o radioisótopo Ca-45, que decai emitindo uma partícula beta negativa, e cuja curva de decaimento é representada na figura.

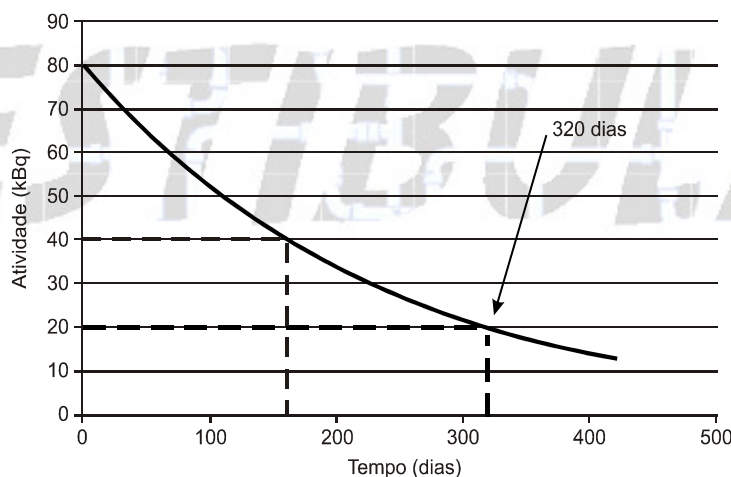


A absorção deficiente de cálcio está associada a doenças crônicas como osteoporose, câncer de cólon e obesidade. A necessidade de cálcio varia conforme a faixa etária. A OMS (Organização Mundial da Saúde) recomenda uma dose de 1000 mg/dia na fase adulta. A suplementação desse nutriente é necessária para alguns indivíduos. Para isso, o carbonato de cálcio pode ser apresentado em comprimidos que contêm 625 mg de  $\text{CaCO}_3$ .

- Determine a meia-vida do radioisótopo Ca-45 e identifique o elemento químico resultante do seu decaimento.
- Determine o número de comprimidos do suplemento carbonato de cálcio que corresponde à quantidade de cálcio diária recomendada pela OMS para um indivíduo adulto.

**Resolução:**

a) Observe o gráfico:



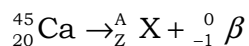
Podemos dividir a atividade (kBq) inicial (80) por 2 e obter o período de meia vida da seguinte maneira:

$$80 \xrightarrow{p} 40 \xrightarrow{p} 20$$

$p + p = 320$  dias, então:

$$2 p = 320 \Rightarrow p = 160 \text{ dias}$$

Como o Ca-45 decai emitindo uma partícula beta, teremos:



$$45 = A + 0 \Rightarrow A = 45$$

$$20 = Z - 1 \Rightarrow Z = 21$$

O elemento químico resultante do decaimento tem 21 prótons, logo é o escândio.

b) De acordo com o enunciado um comprimido tem 625 mg de  $\text{CaCO}_3$ . A partir desse dado podemos calcular a massa de cálcio presente neste comprimido:

$$\text{CaCO}_3 = 100; \text{Ca} = 40$$

$$100 \text{ mg de CaCO}_3 \text{ — } 40 \text{ mg de Ca}$$

$$625 \text{ mg de CaCO}_3 \text{ — } m_{\text{Ca}}$$

$$m_{\text{Ca}} = 250 \text{ mg (para 1 comprimido)}$$

A partir da dose recomendada, teremos par a quantidade diária:

$$1000 \text{ mg — } n \text{ comprimidos}$$

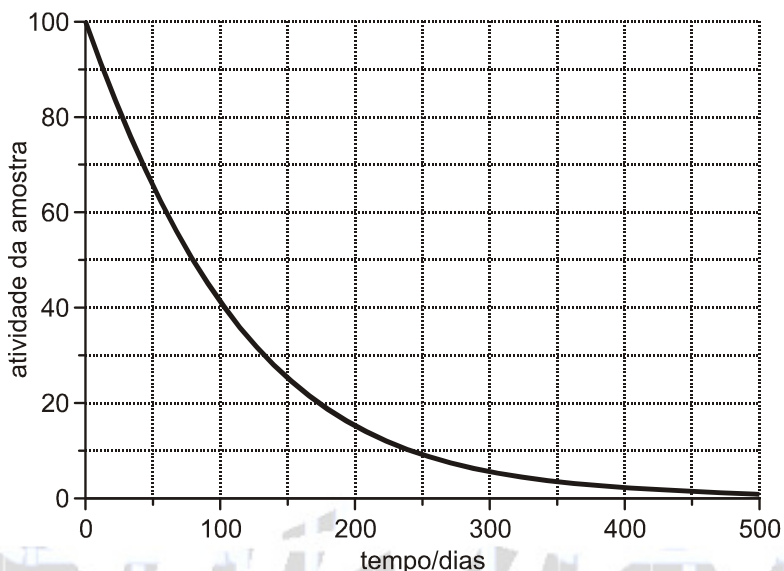
$$250 \text{ mg — } 1 \text{ comprimido}$$

$$n = 4 \text{ comprimidos}$$

**25.** (Unicamp 2010) A *Revista no162* apresenta uma pesquisa desenvolvida no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) sobre a produção de fios de irídio-192 para tratar tumores. Usados em uma ramificação da radioterapia chamada braquiterapia, esses fios são implantados no interior dos tumores e a radiação emitida destrói as células cancerígenas e não os tecidos saudáveis. O  ${}^{192}\text{Ir}$  se transforma em  ${}^{192}\text{Pt}$  por um decaimento radioativo e esse decaimento em função do tempo é ilustrado na figura a seguir.

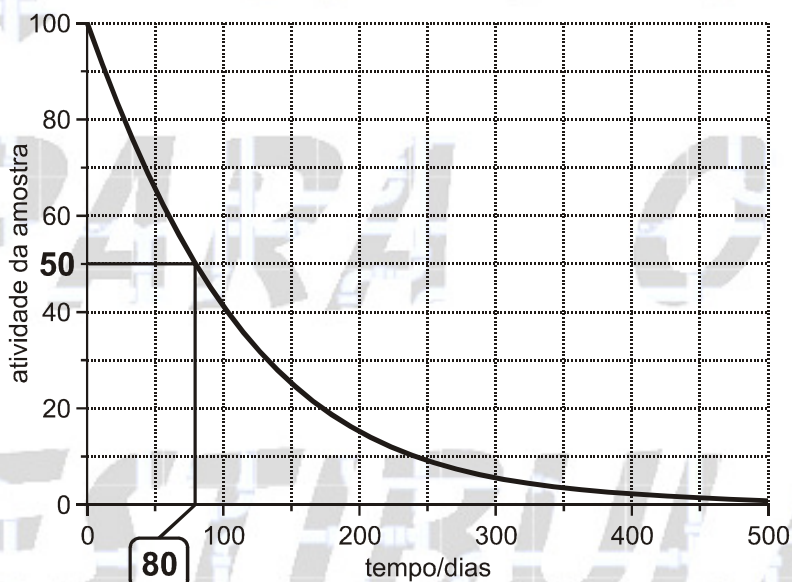
a) Considerando que a radiação é gerada por uma liga que contém inicialmente 20% de  ${}^{192}\text{Ir}$  e 80% de  ${}^{192}\text{Pt}$ , depois de quantos dias essa liga se transformará em uma liga que contém 5% de  ${}^{192}\text{Ir}$  e 95% de  ${}^{192}\text{Pt}$ ? Mostre seu raciocínio.

b) O decaimento radiativo pode originar três diferentes tipos de partículas:  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . Para efeito de resposta ao item, considere apenas  $\alpha$  e  $\beta$ . A partícula  $\alpha$  tem uma massa igual à massa do elétron, enquanto a partícula  $\beta$  tem uma massa igual à do núcleo do átomo de hélio. Considerando essas informações, que tipo de decaimento sofre o  ${}^{192}\text{Ir}$ ,  $\alpha$  ou  $\beta$ ? Justifique.



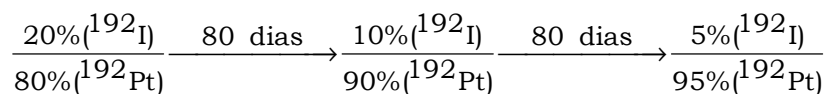
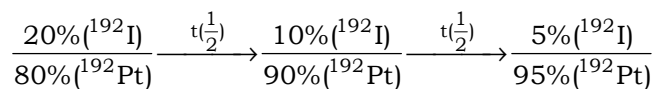
**Resolução:**

a) De acordo com a figura dada:



O período de meia-vida ( $t_{\frac{1}{2}}$ ) é de 80 dias.

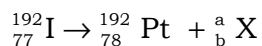
Então,



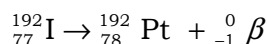
Depois de 160 dias (80 dias + 80 dias) essa liga se transformará em uma liga que contém 5 % de  ${}^{192}\text{Ir}$  e 95 % de  ${}^{192}\text{Pt}$ .



b) O decaimento pode ser representado por:



Então,



O decaimento será do tipo beta.

**26.** (Ufscar 2010) O uso de isótopos radioativos, em Medicina, tem aumentado muito nos últimos anos, sendo o tecnécio-99 o mais usado em clínicas e hospitais brasileiros. O principal fornecedor desse isótopo é o Canadá, e problemas técnicos recentes em seus reatores resultaram em falta desse material no Brasil. Uma proposta alternativa para solucionar o problema no país foi substituir o tecnécio-99 pelo tálio-201. O tálio-201 pode ser produzido a partir do tálio-203, bombardeado por próton ( ${}_1^1\text{p}$ ) acelerado em acelerador de partículas. O tálio-203 incorpora o próton acelerado e rapidamente se desintegra, formando chumbo-201 e emitindo nêutrons no processo. Posteriormente, o chumbo-201 sofre nova desintegração, formando  ${}^{201}\text{Tl}$ , um isótopo com meia-vida de 73 horas.

Pede-se:

a) Escreva a equação balanceada, que representa a reação nuclear para a produção de  ${}^{201}\text{Pb}$ , a partir do bombardeamento do  ${}^{203}\text{Tl}$  com prótons, segundo o processo descrito no enunciado dessa questão.

b) Considerando que na amostra inicial de radiofármaco contendo  ${}^{201}\text{Tl}$  tem uma atividade radioativa inicial igual a  $A_0$ , e que pode ser utilizada em exames médicos até que sua atividade se reduza a  $A_0/4$ , calcule o período de tempo, expresso em horas, durante o qual essa amostra pode ser utilizada para a realização de exames médicos.



### Resolução:

a) Tálio-201 pode ser produzido a partir do tálio-203, bombardeado por próton acelerado em acelerador de partículas. O tálio-203 incorpora o próton acelerado e rapidamente se desintegra, formando chumbo-201 e emitindo nêutrons no processo. Posteriormente, o chumbo-201 sofre nova desintegração, formando  ${}^{201}\text{Tl}$ .

A equação balanceada, que representa a reação nuclear para a produção de  ${}^{201}\text{Pb}$ , a partir do bombardeamento do  ${}^{203}\text{Tl}$  com prótons, segundo o processo descrito no enunciado dessa questão pode ser dada por:  ${}_{81}^{203}\text{Tl} + {}_1^1\text{p} \rightarrow {}_{82}^{201}\text{Pb} + 3{}_0^1\text{n}$ .

b) Como o isótopo tem período de meia vida de 73 horas, teremos:

$$A_0 \xrightarrow{73\text{h}} \frac{A_0}{2} \xrightarrow{73\text{h}} \frac{A_0}{4}$$

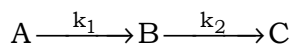
O período de tempo, expresso em horas, durante o qual essa amostra pode ser utilizada para a realização de exames médicos é de 73 h + 73 h, ou seja, de 146 h.

27. (Ime 2010) Dados:

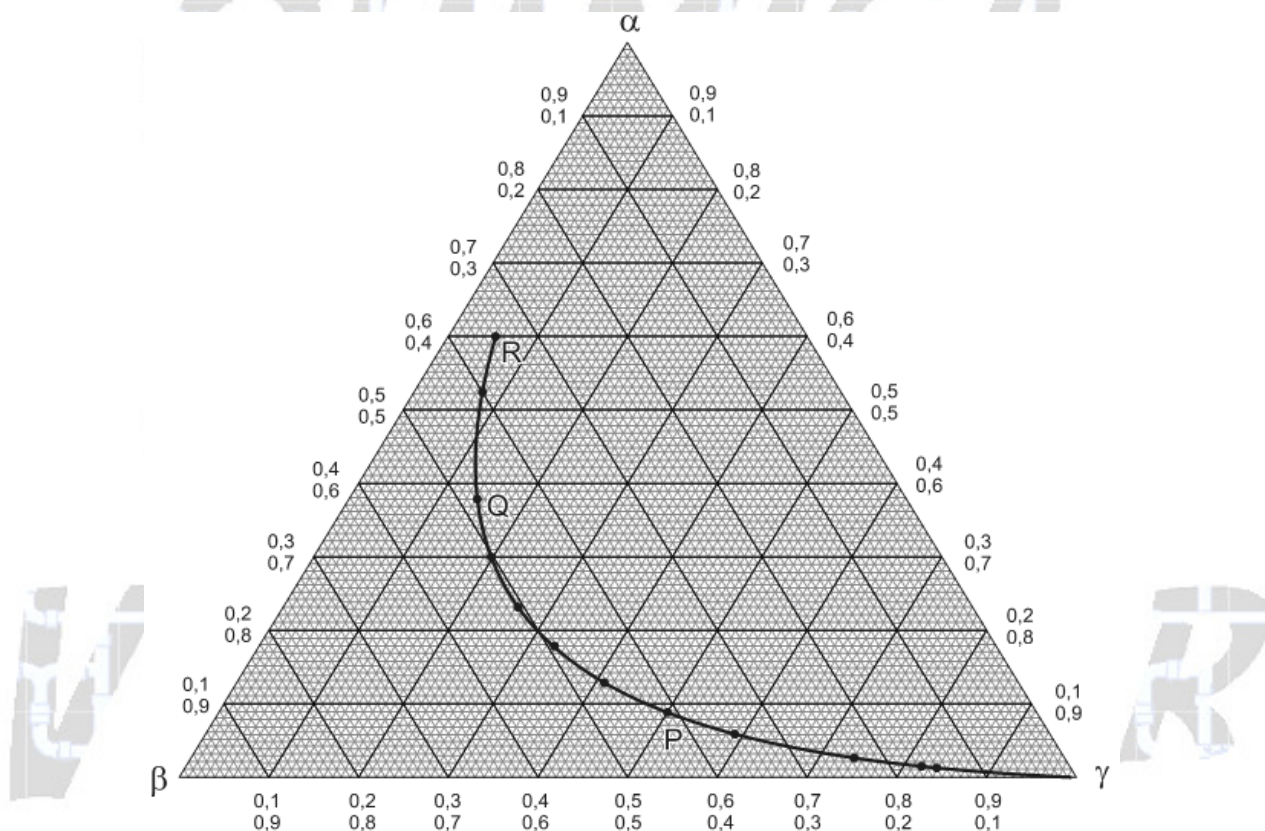
$$\ln 2 = 0,69.$$

Lei de decaimento radioativo:  $N = N_0 e^{-kt}$ .

Considere a seguinte série de reações a produtos constantes, partindo de 2 mol/L da substância A pura, na qual cada reação segue a cinética de 1ª ordem, semelhante à encontrada nas reações de decaimento radioativo, sendo  $k_1$  e  $k_2$  as constantes de velocidade:



A fração molar das espécies ao longo da reação está representada pela curva  $\gamma PQR$  no diagrama abaixo, no qual cada vértice representa um componente puro e o lado oposto a este vértice representa a ausência deste mesmo componente, de tal forma que as paralelas aos lados fornecem as diferentes frações molares de cada um. No diagrama, as substâncias A, B e C estão identificadas como  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ , mas não necessariamente nessa ordem.



Sabe-se que o ponto P é atingido após 1,15 horas do início do processo e que o tempo necessário para atingir a concentração máxima de B é dado por:

$$t = \frac{\ln(k_1/k_2)}{k_1 - k_2}$$

Determine a velocidade de formação do produto C quando a concentração deste for  $7/2$  da concentração de A. (Observação:  $x = 0,3$  é raiz da equação  $x = 0,6 e^{-1,38+2,3x}$ ).

**Resolução:**

Como a curva de decaimento é exponencial, podemos usar a cinética de desintegração de primeira ordem, Para  $A \xrightarrow{k_1} B$ , teremos:

$$X = X_0 \times e^{-k_1 t}$$

Onde:

X: fração molar num dado tempo.

$X_0$ : fração molar inicial.

A é  $\gamma$ , pois sua fração molar é igual a 1; como a concentração de B aumenta e depois a de C, conclui-se que B é  $\beta$  e C é  $\alpha$ .

Sabe-se que o ponto P é atingido após 1,15 horas. Para o ponto P marcado no gráfico  $X = 0,5$ ;  $X_0 = 1$  e  $t = 1,15$ , então:

$$X = X_0 \times e^{-k_1 t}$$

$$0,5 = 1 \times e^{-k_1 \cdot 1,15}$$

Aplicando o logaritmo neperiano ( $\ln$ ), teremos:

$$\ln 0,5 = \ln(1 \times e^{-k_1 \cdot 1,15})$$

$$-0,69 = -1,15k_1 \Rightarrow k_1 = 0,6 \text{ h}^{-1}$$

A concentração máxima é atingida em B e neste ponto, de acordo com o gráfico,  $X = 0,25$ .

Utilizando esta informação na equação  $X = X_0 \times e^{-k_1 t}$ , vem:

$$0,25 = 1 \times e^{-0,6t}$$

$$\ln 0,25 = \ln(1 \times e^{-0,6t})$$

$$\ln 0,25 = \ln 2^{-2} = -2 \ln 2$$

Então,

$$-2 \ln 2 = \ln(1 \times e^{-0,6t})$$

$$-2 \ln 2 = -0,6t \Rightarrow -2 \times 0,69 = -0,6t$$

$$t = 2,3 \text{ h}$$

Utilizando  $t = 2,3 \text{ h}$  na equação fornecida, teremos:

$$t = \frac{\ln(k_1/k_2)}{k_1 - k_2}$$

$$2,3 = \frac{\ln(0,6/k_2)}{0,6 - k_2}$$

$$2,3(0,6 - k_2) = \ln(0,6/k_2)$$

$$(1,38 - 2,3k_2) = \ln(0,6/k_2)$$

$$e^{(1,38 - 2,3k_2)} = \frac{0,6}{k_2}$$

Multiplicando por  $-1$ :

$$e^{(-1,38+2,3k_2)} = \frac{k_2}{0,6} \Rightarrow k_2 = 0,6e^{(-1,38+2,3k_2)}$$

De acordo com o enunciado  $x = 0,3$  é raiz da equação  $x = 0,6 e^{-1,38+2,3x}$ .

Conclusão:  $k_2 = 0,3 \text{ h}^{-1}$ .

Para  $B \xrightarrow{k_2} C$ , teremos:

$$v = k_2[B]$$

A soma das frações molares é igual a 1, utilizando esta ideia, vem:

$$X_A + X_B + X_C = 1$$

De acordo com o enunciado a concentração de C será igual 7/2 da concentração de A.

$$X_C = \frac{7}{2}X_A$$

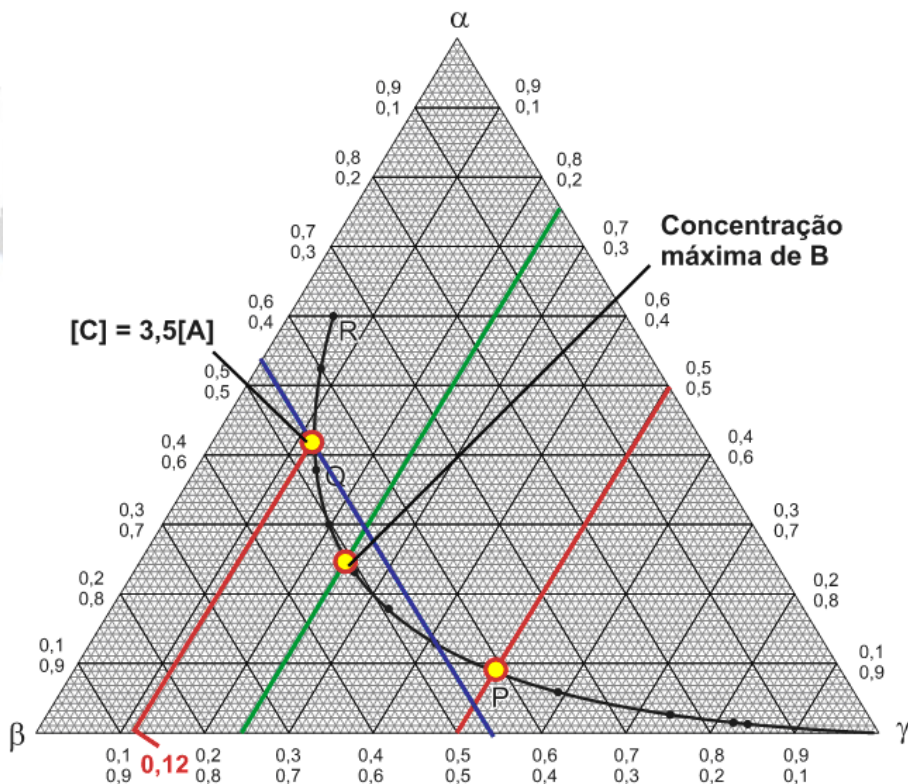
Substituindo em  $X_A + X_B + X_C = 1$ :

$$X_A + X_B + X_C = 1$$

$$X_A + X_B + \frac{7}{2}X_A = 1$$

$$\frac{9}{2}X_A + X_B = 1$$

$$X_B = 1 - \frac{9}{2}X_A$$



Na curva  $X_A = 0,12$ , satisfaz a equação:

$$X_A + X_B + X_C = 1$$

$$0,12 + 1 - \frac{9}{2} \times 0,12 + \frac{7}{2} \times 0,12 = 1$$

$$1 = 1$$

Conclusão:

$$X_A = 0,12$$

$$X_B = 0,46$$

$$X_C = 0,42$$

Retomando  $v = k_2[B]$ , vem:

$$v = k_2[B]; k_2 = 0,3; \text{Concentração molar} = 2.$$

$$[B] = X_B \times \text{Concentração molar}$$

$$v = k_2 \times X_B \times \text{Concentração molar}$$

$$v = 0,3 \times 0,46 \times 2 = 0,276 \text{ mol/Lh}$$