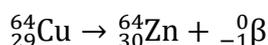


RADIOATIVIDADE

1. Em 1896, Henri Becquerel verificou que o composto de urânio, sulfato de potássio e uranila, $K_2UO_2(SO_4)_2$, causava impressões numa chapa fotográfica e ionizava gases. Considerando-se as informações, os conhecimentos sobre radioatividade, e sabendo-se que o período de semi-desintegração do ^{238}U é de $4,5 \times 10^9$ anos, pode-se afirmar:

- a) O sulfato de potássio e uranila é um composto molecular.
- b) O ^{238}U , ao emitir partículas α , transforma-se em ^{234}Th .
- c) A experiência de Henri Becquerel evidencia a emissão de radiação pelo urânio.
- d) Uma amostra de 2,0 g de ^{238}U perde toda atividade radioativa em $4,5 \cdot 10^9$ anos.
- e) Um radionuclídeo, ao emitir uma partícula α , tem o número atômico aumentado em duas unidades e o número de massa, em quatro unidades.

2. O isótopo radioativo Cu-64 sofre decaimento β , conforme representado:



A partir de amostra de 20,0 mg de Cu-64, observa-se que, após 39 horas, formaram-se 17,5 mg de Zn-64. Sendo assim, o tempo necessário para que metade da massa inicial de Cu-64 sofra decaimento β é cerca de

- a) 6 horas.
- b) 13 horas.
- c) 19 horas.
- d) 26 horas.
- e) 52 horas.

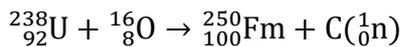
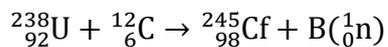
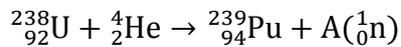
Observação: ${}_{29}^{64}Cu$
64=número de massa
29=número atômico

3. Em 06 de julho de 1945, no estado do Novo México, nos Estados Unidos, foi detonada a primeira bomba atômica. Ela continha cerca de 6 kg de plutônio e explodiu com a força de 20.000 toneladas do explosivo TNT (trinitro-tolueno). A energia nuclear, no entanto, também é utilizada para fins mais nobres como curar doenças, através de terapias de radiação.

Em relação à energia nuclear, indique a alternativa incorreta.

- a) Raios α (alfa) possuem uma baixa penetração na matéria, e os núcleos que emitem estas partículas perdem duas unidades de número atômico e quatro unidades de massa.
- b) Raios α (alfa) são formados por um fluxo de alta energia de núcleos de hélio, combinações de dois prótons e dois nêutrons.
- c) Raios γ (gama) são uma forma de radiação eletromagnética, que não possuem massa ou carga, sendo, portanto, menos penetrantes que as partículas α (alfa) ou β (beta).
- d) Partículas β (beta) são elétrons ejetados a altas velocidades de um núcleo radioativo e possuem uma massa muito menor que a massa de um átomo.
- e) Partículas β (beta) são mais penetrantes que as partículas α (alfa), e a perda de uma única dessas partículas produz aumento de uma unidade no número atômico do núcleo que a emitiu.

4. A partir da década de 40, quando McMillan e Seaborg obtiveram em laboratório os primeiros elementos transurânicos ($NA > 92$), o urânio natural foi usado algumas vezes para obter tais elementos. Para tanto, ele era bombardeado com núcleos de elementos leves. Na obtenção do Plutônio, do Califórnio e do Férmio as transmutações ocorreram da forma a seguir:



Sendo assim, os valores de A, B e C que indicam as quantidades de nêutrons obtidas são, respectivamente:

- a) 1, 4 e 5.
- b) 1, 5 e 4.
- c) 2, 4 e 5.
- d) 3, 4 e 5.
- e) 3, 5 e 4.

5. (FUVEST) Um centro de pesquisa nuclear possui um ciclotron que produz radioisótopos para exames de tomografia. Um deles, o flúor-18 (${}^{18}\text{F}$), com meia-vida de aproximadamente 1 h 30 min, é separado em doses, de acordo com o intervalo de tempo entre sua preparação e o início previsto para o exame. Se o frasco com a dose adequada para o exame de um paciente A, a ser realizado 2 horas depois da preparação, contém NA átomos de ${}^{18}\text{F}$, o frasco destinado ao exame de um paciente B, a ser realizado 5 horas depois da preparação, deve conter NB átomos de ${}^{18}\text{F}$, com

- a) $NB = 2 NA$
- b) $NB = 3 NA$
- c) $NB = 4 NA$
- d) $NB = 6 NA$
- e) $NB = 8 NA$

A meia vida de um elemento radioativo é o intervalo de tempo após o qual metade dos átomos inicialmente presentes sofreram desintegração.

6.

Os raios invisíveis

Em 1898, Marie Curie (1867-1934) era uma jovem cientista polonesa de 31 anos radicada em Paris. Após o nascimento de sua primeira filha, Irene, em setembro de 1897, ela havia acabado de retornar suas pesquisas para a produção de uma tese de doutorado.

Em comum acordo com seu marido Pierre Curie (1859-1906), ela decidiu estudar um fenômeno por ela mesma denominado radiatividade. Analisando se esse fenômeno - a emissão espontânea de raios capazes de impressionar filmes fotográficos e tornar o ar condutor de eletricidade - era ou não uma prerrogativa do urânio, Marie Curie acabou por descobrir em julho de 1898 os elementos químicos rádio e polônio.

Por algum motivo, os átomos de rádio e polônio têm tendência a emitir raios invisíveis, sendo esta uma propriedade de determinados átomos. Na tentativa de compreender esse motivo, a ciência acabou por redescobrir o átomo.

O átomo redescoberto foi dividido em prótons, nêutrons, elétrons, neutrinos, enfim, nas chamadas partículas subatômicas. Com isso, teve início a era de física nuclear.

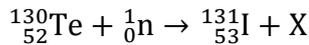
("Folha de S. Paulo", 22 de novembro de 1998, p.13).

Relacionado ao texto e seus conhecimentos sobre radiatividade, assinale a afirmação correta.

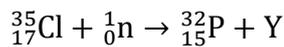
- a) O contato Geiger é um aparelho usado para medir o nível de pressão.
- b) Para completar a reação nuclear: ${}_{13}^{27}\text{Al} + X \rightarrow {}_{12}^{24}\text{Mg} + {}_2^4\text{He}$, X deve ser uma partícula beta.
- c) O ${}_{88}^{225}\text{Ra}$, ao transformar-se em actínio, $Z = 89$ e $A = 225$, emite uma partícula alfa.
- d) O elemento químico rádio apresenta $Z = 88$ e $A = 225$, logo pertence à família dos metais alcalinos terrosos e apresenta 7 camadas eletrônicas.
- e) O polônio, usado na experiência de Rutherford, emite espontaneamente nêutrons do núcleo.

7. Os elementos radiativos têm muitas aplicações. A seguir, estão exemplificadas algumas delas.

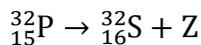
I. O iodo é utilizado no diagnóstico de distúrbios da glândula tireóide, e pode ser obtido pela seguinte reação:



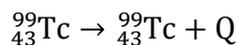
II. O fósforo é utilizado na agricultura como elemento traçador para proporcionar a melhoria na produção do milho, e pode ser obtido pela reação:



Sua reação de decaimento é:



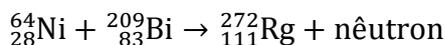
III. O tecnécio é usado na obtenção de imagens do cérebro, fígado e rins, e pode ser representado pela reação:



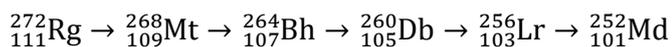
Assinale a alternativa que indica, respectivamente, os significados de X, Y, Z e Q nas afirmativas I, II e III:

- a) α , β , γ , α
- b) α , β , α , γ
- c) γ , β , γ , α
- d) β , α , β , β
- e) β , α , β , γ

8. Em 1995, o elemento de número atômico 111 foi sintetizado pela transformação nuclear:



Esse novo elemento, representado por Rg, é instável. Sofre o decaimento:

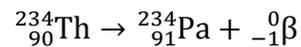
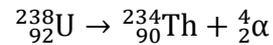


Nesse decaimento, liberam-se apenas

- a) nêutrons.
- b) prótons.
- c) partículas α e partículas β .
- d) partículas β .
- e) partículas α .

9. O fenômeno da radioatividade foi descrito pela primeira vez no final do século passado, sendo largamente estudado no início do século XX. Aplicações desse fenômeno vão desde o diagnóstico e combate de doenças, até a obtenção de energia ou a fabricação de artefatos bélicos.

Duas emissões radioativas típicas podem ser representadas pelas equações:



A radiação α é o núcleo do átomo de hélio, possuindo 2 prótons e 2 nêutrons, que se desprende do núcleo do átomo radioativo. A radiação β é um elétron, proveniente da quebra de um nêutron, formando também um próton, que permanece no núcleo.

A equação que representa o decaimento radioativo do isótopo ${}^{238}\text{U}$ até o isótopo estável ${}^{206}\text{Pb}$ é:

- a) ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb}$
- b) ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + 8 {}^4_2\alpha + 4 {}^0_{-1}\beta$
- c) ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + 8 {}^4_2\alpha + 6 {}^0_{-1}\beta$
- d) ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + 5 {}^4_2\alpha + 5 {}^0_{-1}\beta$
- e) ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + 6 {}^4_2\alpha + 6 {}^0_{-1}\beta$

10. O acidente do reator nuclear de Chernobyl, em 1986, lançou para a atmosfera grande quantidade de ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ radioativo, cuja meia-vida é de 28 anos. Supondo ser este isótopo a única contaminação radioativa e sabendo que o local poder ser considerado seguro quando a quantidade de ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ se reduzir, por desintegração, a $\frac{1}{16}$ da quantidade inicialmente presente, o local poder ser habitado novamente a partir do ano de:

- a) 2014
- b) 2098
- c) 2266
- d) 2986
- e) 3000

11. A proporção do isótopo radioativo do carbono (^{14}C), com meia-vida de, aproximadamente, 5.700 anos, é constante na atmosfera. Todos os organismos vivos absorvem tal isótopo por meio de fotossíntese e alimentação. Após a morte desses organismos, a quantidade incorporada do ^{14}C começa a diminuir exponencialmente, por não haver mais absorção.

a) Por que um pedaço de carvão que contenha 25% da quantidade original de ^{14}C não pode ser proveniente de uma árvore do início da era cristã?

b) Por que não é possível fazer a datação de objetos de bronze a partir da avaliação da quantidade de ^{14}C ?

12. 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

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}U presente em uma amostra de urânio.

d) aumentar, para 20%, a quantidade de ^{235}U presente em uma amostra de urânio.

e) diminuir, para 20%, a quantidade de ^{238}U presente em uma amostra de urânio.

NOTE E ADOTE

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

13. O isótopo 14 do carbono emite radiação β , sendo que 1 g de carbono de um vegetal vivo apresenta cerca de 900 decaimentos β por hora — valor que permanece constante, pois as plantas absorvem continuamente novos átomos de ^{14}C da atmosfera enquanto estão vivas. Uma ferramenta de madeira, recolhida num sítio arqueológico, apresentava 225 decaimentos β por hora por grama de carbono. Assim sendo, essa ferramenta deve datar, aproximadamente, de

a) 19100 a.C.

b) 17100 a.C.

c) 9400 a.C.

d) 7400 a.C.

e) 3700 a.C.

Dado: tempo de meia-vida do ^{14}C = 5700

14. (UFSCar) Em 1999, foi estudada a ossada do habitante considerado mais antigo do Brasil, uma mulher que a equipe responsável pela pesquisa convencionou chamar Luzia. A idade da ossada foi determinada como sendo igual a 11.500 anos. Suponha que, nessa determinação, foi empregado o método da dosagem do isótopo radioativo carbono-14, cujo tempo de meia-vida é de 5730 anos. Pode-se afirmar que a quantidade de carbono-14 encontrada atualmente na ossada, comparada com a contida no corpo de Luzia por ocasião de sua morte, é aproximadamente igual a:

a) 100% do valor original.

b) 50% do valor original.

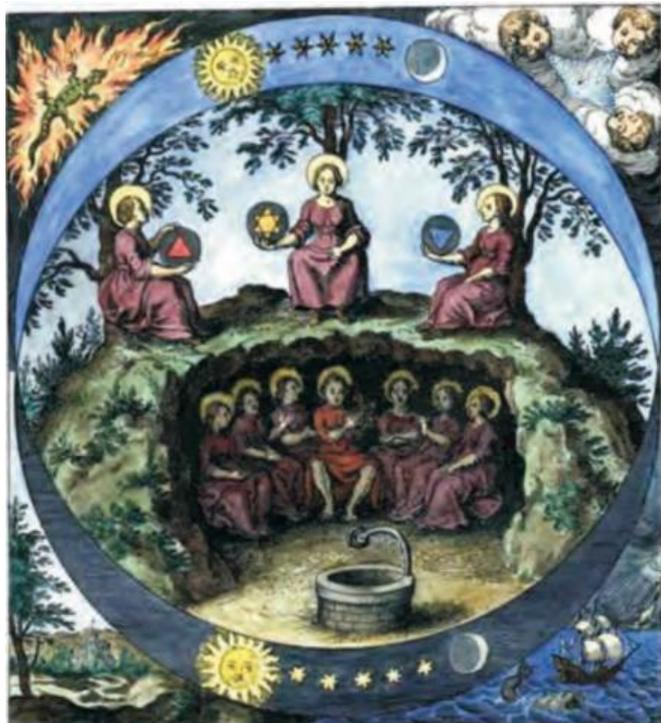
c) 25% do valor original.

d) 10% do valor original.

e) 5% do valor original.

15. (Uel – 2012) Observe a figura e leia o texto a seguir.

Figura 1:



O Lápiz (☆), imagem celestial do ouro terreno, é produzido pela rotação dos elementos, na unificação do superior e do inferior, do fogo (Δ) e da água (∇).

Empédocles propôs “quatro raízes para todas as coisas”: a terra, a água, o ar e o fogo, formando assim os quatro elementos. Acredita-se que, na medida em que o homem manipula estas propriedades, é também possível alterar as estruturas elementares da matéria e transmutá-la. Encontrar a matéria-prima e trazê-la para a terra era a tarefa primordial do alquimista, através das repetidas transmutações dos elementos. Surgem dessa busca superior muitas tentativas analíticas de transformar outras substâncias em ouro.

(Adaptado de: ROOB, Alexander. O museu hermético: alquimia e misticismo. New York: Taschen, 1997. p.14-30.)

Com base no texto e nos conhecimentos sobre estrutura atômica e radiatividade, assinale a alternativa que preenche, correta e respectivamente, as lacunas do texto a seguir. Hoje, com a construção de aceleradores de partículas, é possível produzir artificialmente o ouro por meio de processos de _____ nuclear (também chamada de transmutação artificial). Como exemplo deste processo, tem-se o _____ do núcleo de chumbo ($_{82}\text{Pb}^{207}$) por _____ resultando em ouro _____, lítio ($_{3}\text{Li}^7$) e liberando _____.

- a) fissão / aquecimento / partículas alfa ($_{2}\alpha^4$) / ($_{80}\text{Au}^{199}$) / $5({}_0n^1)$.
- b) fissão / aquecimento / pósitrons ($_{0}n^1$) / ($_{79}\text{Au}^{197}$) / $3({}_{-1}\beta^0)$.
- c) fissão / bombardeamento / nêutrons ($_{0}n^1$) / ($_{79}\text{Au}^{197}$) / $4({}_0n^1)$.
- d) fusão / bombardeamento / partículas alfa ($_{2}\alpha^4$) / ($_{80}\text{Au}^{203}$) / $1p^1$.
- e) fusão / bombardeamento / nêutrons ($_{0}n^1$) / ($_{79}\text{Au}^{198}$) / $3({}_0n^1)$.

16. (Uern 2012) O iodo-131, utilizado em Medicina Nuclear para exames de tireoide possui a meia-vida de oito dias. Isso significa que, decorridos 8 dias, a atividade ingerida pelo paciente será reduzida a metade. Passados mais 8 dias, cairá a metade desse valor, ou seja, 1/4 da atividade inicial e assim sucessivamente. Após 80 dias, o iodo-131 estará cerca de

- a) 10 vezes menor.
- b) 100 vezes menor.
- c) 1.000 vezes menor.
- d) 10.000 vezes menor.

17. (Ufpa 2012) Uma das consequências do tsunami ocorrido no Japão foi a contaminação radioativa, como mostra o trecho retirado de uma notícia da época.

“Na segunda-feira foram detectados índices de iodo 131 e de cézio 134, 126,7 e 24,8 vezes mais elevados, respectivamente, que os fixados pelo governo, em análises das águas do mar próximas de Fukushima, 250 km ao norte da megalópole de Tóquio e de seus 35 milhões de habitantes”.

<http://noticias.terra.com.br/mundo/asia/terremotonojapao/noticias de 22/03/2011>

Se uma amostra dessa água fosse coletada e isolada para acompanhar a atividade radioativa, seria correto afirmar que

Dados: tempo de meia vida ($t_{1/2}$)

césio 137 = 30 anos

iodo 131 = 8 dias

- a) seriam necessários 744 anos para que a atividade devida ao cézio 137 retornasse ao nível normal.
- b) seria necessário, para ambos os isótopos, entre seis e sete períodos de meia vida para que os índices de um e outro ficassem próximos de 1% do valor inicial.
- c) seriam necessários aproximadamente 3 anos para que a atividade devida ao iodo 131 retornasse ao nível normal.
- d) o aquecimento da amostra aceleraria o decaimento radioativo de ambos os isótopos e assim haveria uma descontaminação mais rápida.
- e) somente a contaminação por cézio seria grave, devido ao seu maior tempo de meia vida.

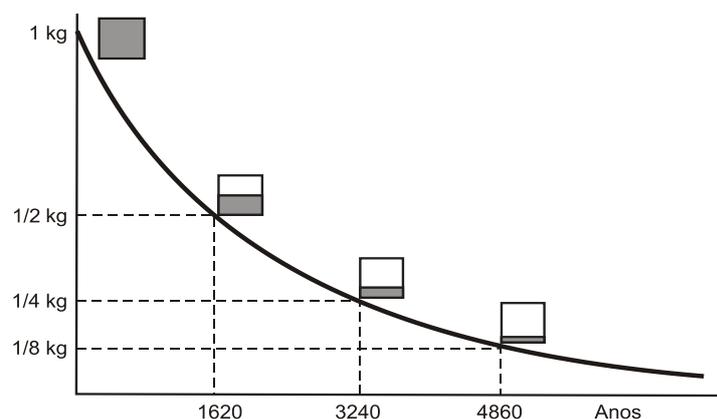
18. (Unesp 2012) Durante sua visita ao Brasil em 1928, Marie Curie analisou e constatou o valor terapêutico das águas radioativas da cidade de Águas de Lindoia, SP. Uma amostra de água de uma das fontes apresentou concentração de urânio igual a $0,16 \mu\text{g}$ por litro de solução. Supondo que o urânio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

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

19. (Upe 2011) A energia nuclear é utilizada há muitos anos, para atender a demanda de energia elétrica de países que não possuem, em abundância, outras fontes para a obtenção de energia necessária ao seu desenvolvimento. Em relação aos aspectos relacionados com a energia nuclear, é correto afirmar que

- a) a intensa poluição radioativa na atmosfera dos países produtores de energia nuclear é uma das desvantagens de usá-la como produtora de energia elétrica.
- b) uma das vantagens do uso da energia nuclear na matriz energética de um país reside no fato de que a matéria-prima que abastece os reatores nucleares tem um tempo de meia-vida que não excede 10 dias.
- c) se estima que haverá aumento de uso da energia nuclear como produtora de energia elétrica, em algum momento em que as reservas de petróleo e gás declinarem, e leis mais severas restringirem, de forma rigorosa, a emissão de dióxido de carbono na atmosfera.
- d) a vantagem do uso da energia nuclear está no fato que, desde a mineração do urânio até a produção da energia nos reatores, a possibilidade de contaminação ambiental é praticamente nula.
- e) os resíduos radioativos que são produzidos pelos reatores nucleares são utilizados largamente, em aterros sanitários, o que, de alguma forma, minimiza os impactos ambientais.

20. (Enem cancelado 2009) O lixo radioativo ou nuclear é resultado da manipulação de materiais radioativos, utilizados hoje na agricultura, na indústria, na medicina, em pesquisas científicas, na produção de energia etc. Embora a radioatividade se reduza com o tempo, o processo de decaimento radioativo de alguns materiais pode levar milhões de anos. Por isso, existe a necessidade de se fazer um descarte adequado e controlado de resíduos dessa natureza. A taxa de decaimento radioativo é medida em termos de um tempo característico, chamado meia-vida, que é o tempo necessário para que uma amostra perca metade de sua radioatividade original. O gráfico seguinte representa a taxa de decaimento radioativo do rádio-226, elemento químico pertencente à família dos metais alcalinos terrosos e que foi utilizado durante muito tempo na medicina.



As informações fornecidas mostram que

- a) quanto maior é a meia-vida de uma substância mais rápido ela se desintegra.
- b) apenas $\frac{1}{8}$ de uma amostra de rádio-226 terá decaído ao final de 4.860 anos.
- c) metade da quantidade original de rádio-226, ao final de 3.240 anos, ainda estará por decair.
- d) restará menos de 1% de rádio-226 em qualquer amostra dessa substância após decorridas 3 meias-vidas.
- e) a amostra de rádio-226 diminui a sua quantidade pela metade a cada intervalo de 1.620 anos devido à desintegração radioativa.

21. (Unifesp 2009) Dentre outras aplicações, a radiação nuclear pode ser utilizada para preservação de alimentos, eliminação de insetos, bactérias e outros microorganismos eventualmente presentes em grãos e para evitar que certas raízes brotem durante o armazenamento. Um dos métodos mais empregados utiliza a radiação gama emitida pelo isótopo ^{60}Co . Este isótopo é produzido artificialmente pela reação de um isótopo do elemento químico X com um nêutron, gerando somente ^{60}Co como produto de reação. O ^{60}Co , por sua vez, decai para um elemento Y, com a emissão de uma partícula beta de carga negativa e de radiação gama. Os elementos X e Y têm números atômicos, respectivamente, iguais a:

- a) 26 e 28.
- b) 26 e 29.
- c) 27 e 27.
- d) 27 e 28.
- e) 29 e 27.

22. (Fgv 2008) O plutônio-239, emissor de partículas alfa e meia-vida de 24 mil anos, é produzido como subproduto durante a operação de reatores nucleares. Esse isótopo é fissionável e apenas alguns quilogramas de plutônio enriquecido acima de 93 % de Pu-239 são necessários para fabricar uma bomba atômica. Por isso, a Agência Internacional de Energia Atômica controla o estoque desse elemento nos centros de pesquisas e centrais nucleares do mundo. O produto de decaimento do plutônio-239 e o tempo em 10^3 anos necessário para que o nível de radioatividade diminua para $1/128$ de seu valor original são, respectivamente,

- a) U e 168.
- b) Am e 168.
- c) U e 144.
- d) Np e 144.
- e) Am e 144.

23. (Enem 2009) Considere um equipamento capaz de emitir radiação eletromagnética com comprimento de onda bem menor que a da radiação ultravioleta. Suponha que a radiação emitida por esse equipamento foi apontada para um tipo específico de filme fotográfico e entre o equipamento e o filme foi posicionado o pescoço de um indivíduo. Quanto mais exposto à radiação, mais escuro se torna o filme após a revelação. Após acionar o equipamento e revelar o filme, evidenciou-se a imagem mostrada na figura a seguir.



Dentre os fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e os átomos do indivíduo que permitem a obtenção desta imagem inclui-se a

- a) absorção da radiação eletromagnética e a consequente ionização dos átomos de cálcio, que se transformam em átomos de fósforo.
- b) maior absorção da radiação eletromagnética pelos átomos de cálcio que por outros tipos de átomos.
- c) maior absorção da radiação eletromagnética pelos átomos de carbono que por átomos de cálcio.
- d) maior refração ao atravessar os átomos de carbono que os átomos de cálcio.
- e) maior ionização de moléculas de água que de átomos de carbono.

24. (FUVEST) Em 1921, E.Rutherford e J. Chadwick relataram que, ao bombardear átomos de nitrogênio (${}^{14}_7\text{N}$) com partículas alfa (núcleos de ${}^4_2\text{He}$), ocorria a liberação de prótons. Posteriormente, eles afirmaram:

Não há informação sobre o destino final da partícula alfa... É possível que ela se ligue, de alguma maneira, ao núcleo residual. Certamente ela não é reemitida pois, se assim fosse, poderíamos detectá-la.

Anos mais tarde, P. Blackett demonstrou que, na experiência relatada por Rutherford e Chadwick, havia apenas a formação de um próton e de outro núcleo X. Também lembrou que, na colisão da partícula alfa com o átomo de nitrogênio, deveria haver conservação de massa e de carga nuclear.

a) Com base nas informações acima, escreva a equação nuclear representativa da transformação que ocorre ao se bombardear átomos de nitrogênio com partículas alfa.

b) O núcleo X formado na experiência descrita é um isótopo de nitrogênio? Explique sua resposta.

					${}^2_2\text{He}$	
	${}^6_6\text{C}$	${}^7_7\text{N}$	${}^8_8\text{O}$	${}^9_9\text{F}$	${}^{10}_{10}\text{Ne}$	
		${}^{14}_{14}\text{Si}$	${}^{15}_{15}\text{P}$	${}^{16}_{16}\text{S}$	${}^{17}_{17}\text{Cl}$	${}^{18}_{18}\text{Ar}$
			${}^{33}_{33}\text{As}$	${}^{34}_{34}\text{Se}$	${}^{35}_{35}\text{Br}$	

RESPOSTAS

1.c 2.b 3.c 4.e 5.c 6.d 7.e 8.e 9.c
 10.b 12.d 13.c 14.c 15.c 16.c 17.b 18.c
 19.c 20.e 21.d 22.a 23.b

11. a) A árvore morreu há aproximadamente 11 400 anos, bem antes da era cristã.

b) O bronze é uma liga metálica de cobre e estanho, e não possui carbono em sua composição.

24. a) ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\alpha \rightarrow {}^1_1\text{p} + {}^{17}_8\text{X}$

b) Não, pois se trata do elemento oxigênio.

