

C-1 Origem e utilização da radioatividade

Neste subtema vão-se estudar aspetos da radioatividade que permitem compreender algumas das suas aplicações, bem como a sua ação no corpo humano por efeito da interação com os tecidos biológicos.

1 Processos de estabilização dos núcleos radioativos: decaimento radioativo

O que acontece aos núcleos instáveis?

O processo pelo qual um núcleo instável se desintegra e, portanto, liberta espontaneamente energia, é denominado **decaimento radioativo**.

A instabilidade dos núcleos está relacionada com a proporção entre o número de prótons e de neutrões existentes no núcleo.

A figura 124 mostra a **faixa de estabilidade**, que corresponde à área sombreada e a linha reta, $N = Z$, que representa a razão neutrão/próton igual a 1, ou seja núcleos com igual número de prótons e neutrões.

Os nuclidos mais estáveis são aqueles que se encontram mais próximos da linha de estabilidade.

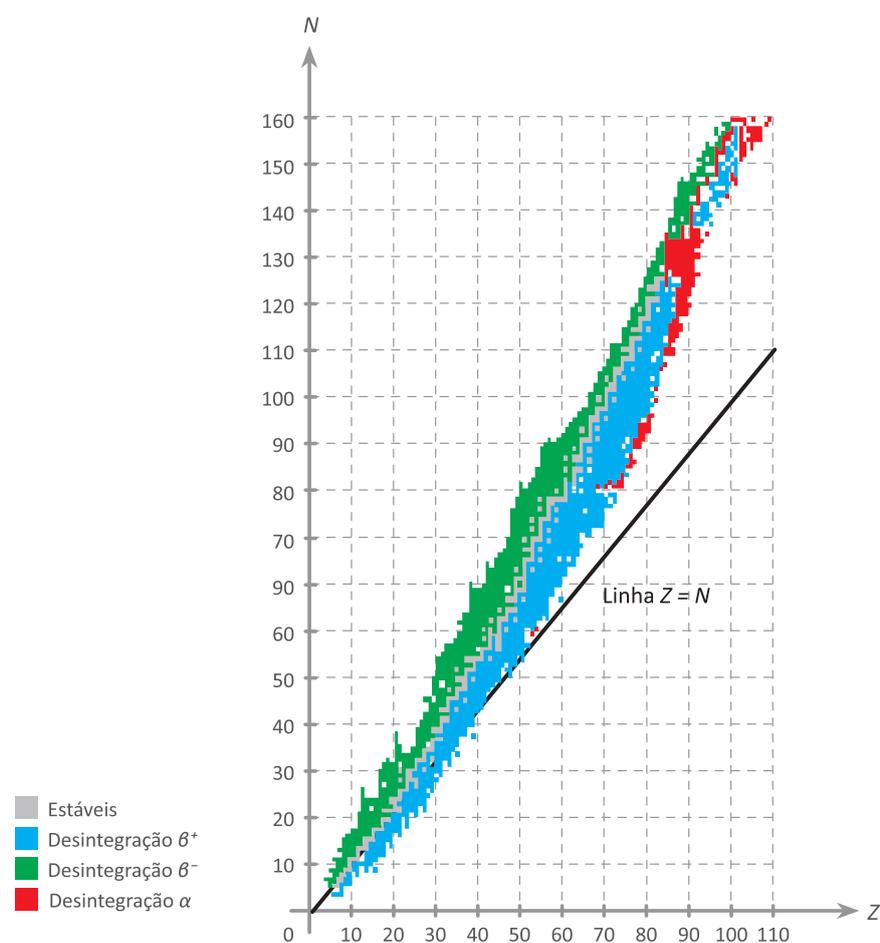


Figura 124 – Número de neutrões em função do número de prótons.

Pela análise do gráfico, verifica-se que:

– no caso de núcleos leves, de elementos de número atómico baixo, a maior estabilidade existe para núcleos com igual número de protões e de neutrões ($Z = N$), pois encontram-se sobre a linha $N = Z$;

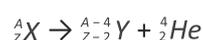
– no caso de núcleos mais pesados, a estabilidade só é atingida para valores muito acima da linha $N = Z$.

Um nuclido instável decai noutros nuclídos estáveis, emitindo radiações α , β ou γ .

Decaimento alfa

Este decaimento consiste na **emissão de uma partícula α** , que é um **núcleo de um átomo de hélio**, ${}^4_2\text{He}$ constituído por dois protões e dois neutrões.

Este decaimento pode ser representado esquematicamente pela seguinte equação genérica:



Portanto, o núcleo que se formou, Y, diminuiu duas unidades no número atómico e quatro unidades no número de massa, em relação ao núcleo original, X.

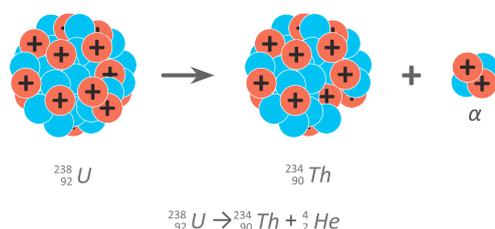


Figura 125 – Exemplo de decaimento α .

O decaimento α ocorre, principalmente, em núcleos de maior massa, nos quais a força nuclear forte não é capaz de manter unidos os protões e os neutrões.

A saber:

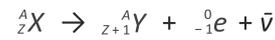
Uma partícula α é um núcleo de hélio.

Decaimento beta

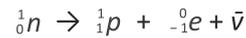
O decaimento β ocorre em núcleos que têm um número excessivo ou insuficiente de protões ou neutrões para serem estáveis. Neste decaimento um núcleo decai espontaneamente emitindo um eletrão ou um positrão, que é a antipartícula do eletrão.

A **emissão de um eletrão** designa-se por **decaimento β^-** e a emissão de um positrão, designa-se por **decaimento β^+** .

O decaimento β^- ocorre quando o número de neutrões é grande comparado com o número de protões, e pode ser representado esquematicamente pela seguinte equação genérica:



Neste decaimento, um neutrão originou um protão, um eletrão e um antineutrino:



Portanto, no decaimento β^- , é emitido um eletrão, ${}^0_{-1}\beta$. O núcleo resultante, Y , mantém o número de massa e o número atómico aumenta de uma unidade.

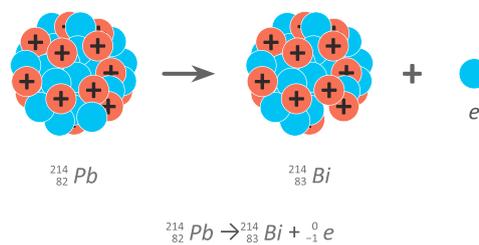
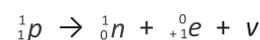


Figura 126 – Exemplo de decaimento β^- .

O decaimento β^+ ocorre quando o número de protões é grande comparado com o número de neutrões, e pode ser representado esquematicamente pela seguinte equação genérica:



Neste decaimento, um protão originou um neutrão, um positrão e um neutrino:



Portanto, no decaimento β^+ , é emitido um positrão, ${}^0_{+1}\beta$. O núcleo resultante, Y , mantém o número de massa e o número atómico diminui de uma unidade.

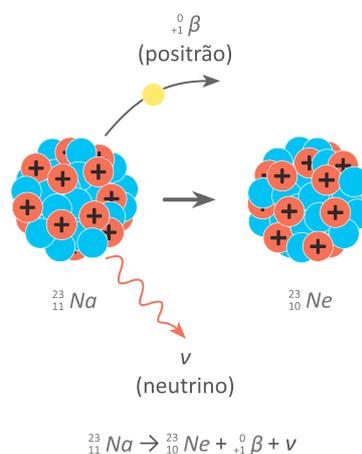


Figura 127 – Exemplo de decaimento β^+ .

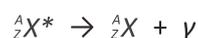
A saber:

Uma partícula β é um eletrão ou um positrão.

Decaimento gama

O decaimento γ acontece quando um núcleo radioativo está num estado excitado e decai para um estado de menor energia emitindo um fóton.

O decaimento γ pode ser representado esquematicamente pela seguinte equação genérica:



Portanto, não há alteração nem do número atômico nem do número de massa e os raios gama libertados são eletricamente neutros, radiação eletromagnética de frequência elevada, superior à dos raios X.

Os decaimentos α e β são normalmente acompanhados da emissão de raios γ , quando o nuclido formado fica num estado excitado e decai para o estado fundamental.

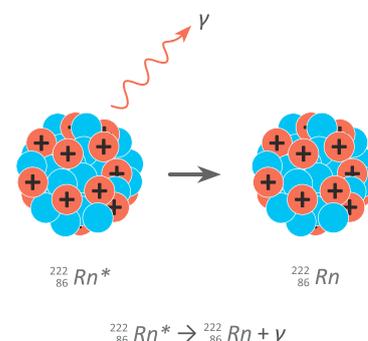


Figura 128 – Exemplo de decaimento γ .

Questão resolvida

1. Considere uma amostra de ${}^{212}_{83} Bi$. Uma parte A da amostra sofreu um decaimento e originou ${}^{208}_{81} Tl$ e a parte B decai para o isótopo ${}^{212}_{84} Po$.

1.1. Escreva a equação que traduz o decaimento das duas partes da amostra.

1.2. Classifique cada um dos decaimentos.

1.3. Calcule a energia libertada no decaimento da parte A.

Resolução:



1.2. A: Decaimento α . B: Decaimento β^- .

1.3. A energia libertada corresponde à diferença de massa entre o núcleo original e a soma das massas dos núcleos que se formaram.

$$A. \Delta m = {}^{212}_{83} M - ({}^{208}_{81} M + {}^4_2 M)$$

$$\Delta m = 208,98040 - (205,3833 + 4,002602)$$

$$\Delta m = -0,405502 \text{ u}$$

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

$$\Delta E = -0,405502 \times 1,66054 \times 10^{-27} \times (2,998 \times 10^8)^2$$

$$\Delta E = -6,052 \times 10^{-11} \text{ J}$$

O sinal negativo significa que a energia é libertada.

1.1 Propriedades das emissões

Quais são as propriedades das emissões, alfa, beta e gama?

A tabela seguinte apresenta as principais propriedades das emissões, alfa, beta e gama.

Propriedades	Tipos de Radiação		
	α	β	γ
Natureza	Núcleos de átomos de hélio	Elétrões ou positrões	Radiação eletromagnética
Carga elétrica	+ 2	-1 ou +1	Não tem carga
Poder penetrante	Pouco penetrante: podem ser absorvidas por uma folha de papel, pela pele ou por uma espessura de alguns centímetros de ar.	Bastante penetrante: Podem ser absorvidas por uma espessura de 5 mm de alumínio.	Altamente penetrantes: podem ser atenuadas por uma espessura de 25 mm de chumbo ou por uma parede de betão.
Poder ionizante	Elevado	Moderado	Pequeno

Tabela 7 – Propriedades das emissões alfa, beta e gama.

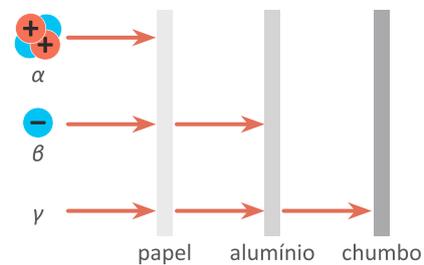


Figura 129 – Comparação do poder de absorção das partículas α e β e da radiação γ por diferentes materiais.

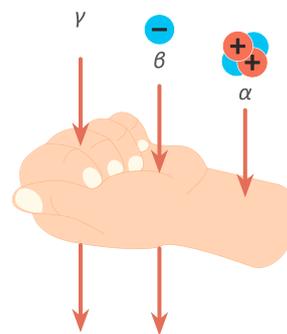


Figura 130 – Comparação do poder de penetração das partículas α e β e da radiação γ no corpo humano.

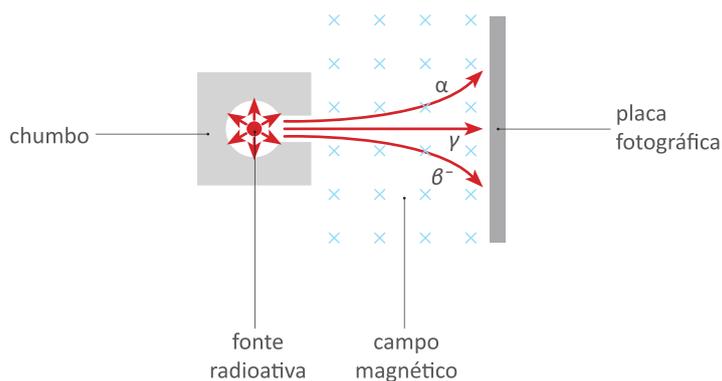


Figura 131 – Comparação do desvio das partículas α e β e da radiação γ por um campo magnético.

A saber:

Símbolo que identifica presença de radiação ionizante:



A saber:

A expressão radiação ionizante não só é usada para certas radiações eletromagnéticas como para a emissão de partículas.

1.2 Lei do decaimento radioativo

Como decaem os núcleos?

Os núcleos de uma amostra radioativa desintegram-se aleatoriamente. Não se sabe exatamente quando um certo núcleo se vai desintegrar, mas conhece-se a probabilidade de ocorrência desse processo.

À medida que o tempo passa, o número N de núcleos radioativos presentes numa amostra vai diminuindo de acordo com a relação seguinte que traduz a [Lei do Decaimento Radioativo](#).

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Onde:

N_0 é o número de núcleos radioativos iniciais, e λ a constante de decaimento.

A [constante de decaimento](#), λ , é uma característica da substância e indica a probabilidade, por unidade de tempo, de ocorrência de um dado processo radioativo.

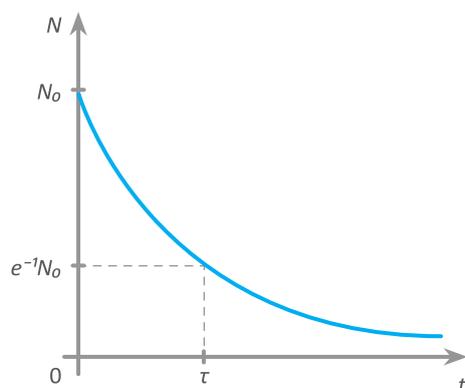


Figura 132 – Decaimento exponencial de um núcleo radioativo: $\tau = \frac{1}{\lambda}$ é o tempo médio de vida.

Questão resolvida

1. Uma amostra de fósforo-32 contém inicialmente $4,4 \times 10^8$ átomos. A constante de decaimento do fósforo-32 é $4,8 \times 10^{-2}$ por dia.

Calcule o número de átomos que a amostra contém ao fim de 5 dias.

Resolução:

$$1. N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N = 4,4 \times 10^8 e^{-4,8 \times 10^{-2} \times 5}$$

$$N = 3,5 \times 10^8 \text{ átomos.}$$

1.3 Tempo de meia vida

O que é o tempo de meia vida?

O **tempo de meia vida**, $T_{1/2}$, ou também chamado **período de semidesintegração** é o tempo que decorre até que o número de núcleos radioativos se reduza a metade do valor inicial.

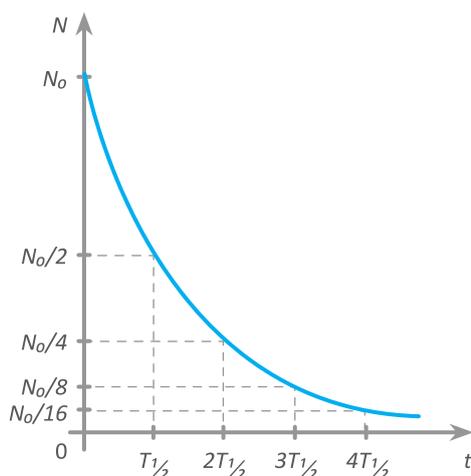


Figura 133 – Evolução do decaimento de um elemento radioativo.

Substituindo na Lei do Decaimento Radioativo, vem:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \Leftrightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}} \Leftrightarrow \ln 2 = \lambda T_{1/2} \Leftrightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

O **tempo médio de vida**, τ , também chamado **período de decaimento**, é o inverso da constante de decaimento:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

Substituindo $t = \tau$ na Lei do Decaimento Radioativo, vem:

$$N = 0,367 N_0$$

O que significa que, o período de decaimento é o tempo que a amostra radioativa demora a reduzir-se a cerca de 37 % da sua composição inicial.

Questão resolvida

1. O carbono-14 é usado para determinar a idade dos fósseis. A análise de um esqueleto revelou que a quantidade de carbono-14 era, aproximadamente igual a $\frac{1}{8}$ da quantidade normal.

Sendo o $T_{1/2}$ do carbono-14 de 5730 anos, calcule há quantos anos terá morrido.

Resolução:

1. Demorou 5730 anos para decair para metade da quantidade inicial, mais 5730 anos para diminuir para metade de metade, ou seja um quarto da quantidade inicial, mais 5730 anos para diminuir para metade de um quarto, ou seja para um oitavo da quantidade inicial. Portanto, terá morrido à 3×5730 anos = 17190 anos.

1.4 Atividade de uma amostra radioativa

O que é a atividade de uma amostra radioativa?

A **atividade**, R , de uma amostra radioativa é o número de decaimentos por unidade de tempo.

$$R = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Leftrightarrow R = \lambda N$$

e traduz a rapidez com que a desintegração ocorre.

A unidade de atividade no Sistema Internacional é o becquerel, cujo símbolo é Bq.

1 Bq corresponde a 1 decaimento por segundo.

Questões resolvidas

1. Uma amostra radioativa, cuja constante de decaimento, λ , é $1,386 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$, contém $8,6 \times 10^{12}$ átomos.

Calcule:

1.1. A atividade da amostra no início.

1.2. O tempo de meia vida.

1.3. A atividade da amostra após 100 s.

Resolução:

1.1. A atividade está relacionada com a constante de decaimento e com o número de átomos presentes num determinado instante:

$$R = \lambda N$$

$$R_0 = 1,386 \times 10^{-2} \times 8,6 \times 10^{12}$$

$$R_0 = 1,2 \times 10^{11} \text{ Bq.}$$

1.2.

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \Leftrightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}} \Leftrightarrow \ln 2 = \lambda T_{1/2} \Leftrightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{1,386 \times 10^{-2}} \Leftrightarrow T_{1/2} = 50 \text{ s.}$$

1.3. Ao fim de 50 s a atividade da amostra reduz-se a metade, ao fim de 100 s reduz-se a um quarto do valor inicial:

$$R = \frac{R_0}{4} \Leftrightarrow R = \frac{1,2 \times 10^{11}}{4} \Leftrightarrow R = 3,0 \times 10^{10} \text{ Bq.}$$

2. Em 1902, Marie e Pierre Curie conseguiram separar do minério de urânio a primeira quantidade substancial de rádio, um decigrama de RaCl_2 puro. O rádio era o isótopo radioativo ^{226}Ra , que tem um tempo de meia vida de 1600 anos.

2.1. Calcule o número de núcleos de rádio que eles isolaram.

2.2. Determine a taxa de decaimento da amostra, em desintegrações/s e em Curies.

Nota: A unidade Curie (abreviadamente Ci) foi adotada em homenagem aos Curie, que receberam, em 1903, o Prémio Nobel de Física pelos seus trabalhos nos fenómenos de radiação. 1 Curie é igual a $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações/s.

Resolução:

2.1. Consultando a Tabela Periódica: $A_r(\text{Ra}) = 226$ e $A_r(\text{Cl}) = 35,453$

Então, a 1 mol de RaCl_2 corresponde à massa de: $226 + 2 \times 35,453 \approx 297 \text{ g}$

e 1 mol de RaCl_2 contém $6,02 \times 10^{23}$ núcleos de ^{226}Ra

Portanto:

$$297 \text{ g} \text{ ----- } 6,02 \times 10^{23} \text{ núcleos } ^{226}\text{Ra}$$

$$0,1 \text{ g} \text{ ----- } x$$

$$x = 2,03 \times 10^{20} \text{ núcleos } ^{226}\text{Ra.}$$

2.2.

$$R = \lambda N \text{ e como } T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Então, $R = (\ln 2 / T_{1/2}) N$ e substituindo,

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

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

Como 1 ano = $3,16 \times 10^7 \text{ s}$,

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

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

$$R = (2,78 \times 10^9) / (3,7 \times 10^{10}) = 0,075 \text{ Ci.}$$

2 Fontes naturais e artificiais de radioatividade

Como já referido, foi Becquerel, em 1896, quem descobriu a radioatividade. Além deste cientista, dois outros, também franceses, destacaram-se na descoberta de elementos radioativos, Marie Curie, e o seu marido Pierre Curie.

Investigaram propriedades de diversos minérios de urânio e descobriram dois novos elementos químicos. O primeiro foi nomeado **polónio**, em homenagem a Marie Curie, que nasceu na Polónia, mas que se naturalizou francesa, e o outro **rádio**, devido à sua intensa radiação.

Em 1903, Marie Curie, juntamente com Pierre Curie e Henri Becquerel recebeu o Prémio Nobel da Física.



Pierre Curie (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934)

Quais são as fontes radioativas?

As fontes radioativas podem ser **naturais** e **artificiais**.

A radiação cuja fonte é **natural** pode ter origem no espaço extraterrestre e chega até nós através de raios cósmicos, ou tem origem na crosta terrestre ou ainda é emitida pelos isótopos radioativos contidos nos próprios seres vivos.

Estas radiações ionizantes existem no planeta Terra desde a sua origem. As estrelas, compostas inicialmente por hidrogénio, são a primeira fonte da radiação cósmica que a Terra recebe.

Os processos de síntese dos elementos químicos, que ocorrem nas estrelas, são as fontes destas radiações. A produção destes elementos químicos ocorre na fase de “explosão da supernova”, nas estrelas cuja massa é superior à do Sol. Neste acontecimento, com a duração média de dois segundos, é sintetizada a maioria dos núcleos instáveis conhecidos, que ao evoluírem para configurações mais estáveis, libertam o excesso de energia armazenada nos seus núcleos.

Quanto às fontes artificiais, criadas pelo Homem, enquadram-se os reatores nucleares usados na indústria, os equipamentos de diagnóstico e aplicações médicas, além de alguns equipamentos elétricos.

Nota:

As radiações cósmicas são partículas altamente energéticas, principalmente prótons, eletrões, neutrões, mesões, neutrinos, núcleos leves e radiação gama provenientes do espaço sideral. A energia destas radiações é muito alta, da ordem de centenas de MeV a GeV.

A saber:

A atmosfera terrestre exerce um papel de blindagem para os habitantes, atenuando e absorvendo as radiações.

3 Efeitos biológicos da radiação

Quais são os efeitos da radiação nos seres vivos?

Em pequenas doses, a radiação ajuda a diagnosticar e tratar doenças. Em grandes quantidades, pode alterar o sistema biológico com graves consequências.

Os efeitos biológicos da radiação devem-se, principalmente, à ionização que produz, podendo provocar queimaduras e destruir tecidos, pois alteram a estrutura das moléculas que constituem as células.

Os efeitos biológicos da radiação ionizante dependem de diversos fatores e, naturalmente, variam de pessoa para pessoa. Dependem do tipo de radiação, da dose de radiação absorvida e do tipo de tecido irradiado.

Para descrever a radiação absorvida por um material, define-se a **dose de radiação absorvida**, D , como a energia transferida pela radiação por unidade de massa do material irradiado:

$$D = \frac{E}{m}$$

A unidade de dose de radiação absorvida, no Sistema Internacional, é o gray, Gy, que é equivalente a um joule por quilograma,

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

Frequentemente usa-se o rad, em que, $1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$.

Questão resolvida

1. Uma pessoa recebe uma energia de 50 J de uma fonte radioativa. Sabendo que até 1 Gy não há danos sérios nos tecidos, determine a massa mínima da pessoa para que a dose recebida não seja perigosa.

Resolução:

1. $D = \frac{E}{m}$, logo $m = 50 \text{ kg}$.

No entanto, como os efeitos nocivos da radiação dependem da natureza da radiação e da sua energia, bem como do tecido irradiado, isto é da sua qualidade, para melhor precisar o grau de danos biológicos causados pela radiação ionizante utiliza-se a **dose-equivalente biológica**, H .

$$H = Q D$$

onde Q representa o **fator de qualidade**. Este assume o valor $Q = 1$, quando a radiação em causa produz efeitos equivalentes aos da radiação escolhida para referência, que são raios X de 200 keV.

A unidade de dose-equivalente biológica no Sistema Internacional é o **sievert**, Sv.

4 Detetores de radiação ionizante

Como se deteta a radiação ionizante?

O [contador de Geiger-Muller](#) é um equipamento que se usa para detetar a presença de radiações ionizantes e avaliar o seu nível no ambiente.



Figura 134 – Contador de Geiger-Muller.

5 Aplicações da radiação ionizante

As aplicações da radiação ionizante são muitas, por exemplo, na Medicina, na Arqueologia e na Indústria.

5.1 Na Medicina

A mais importante aplicação da radiação ionizante é, sem dúvida, na Medicina, quer no diagnóstico, quer no tratamento do cancro ou outras doenças.

Quais são as aplicações dos isótopos radioativos na Medicina?

Alguns isótopos radioativos têm vindo a ser aplicados, quer como fonte de radiação para obter imagens, quer como fonte de radiação direta.

São usados como fonte de radiação para obter imagens, como meio de diagnóstico, por exemplo, nas radiografias, TAC e mamografias.

A [radiografia](#) é uma imagem obtida, após um feixe de raios X ou raios gama, atravessar a região de estudo e interagir com uma emulsão fotográfica ou tela fluorescente.

A [tomografia axial computadorizada – TAC](#), utiliza um sistema de raios X do qual se obtêm imagens para várias orientações das fontes em relação ao corpo. Estas imagens a duas dimensões são processadas num computador para formar uma imagem tridimensional do corpo.

A [mamografia](#) complementada com a realização de biopsias e de ultrassonografias permite a deteção precoce do cancro da mama. A imagem é obtida com o uso de um feixe de raios X de baixa energia, produzidos em tubos especiais, após a mama ser comprimida entre duas placas.

O seu uso como fonte de radiação direta é feito em tratamentos de radioterapia no cancro e outras doenças.

O facto de radiações penetrantes como os raios X e gama induzirem lesões em profundidades diversas do organismo humano e, com isso, causar a morte de células, pode ser utilizado para a terapia do cancro. Assim, tumores profundos podem ser destruídos ou regredidos sob a ação de feixes de radiação.

5.2 Na Arqueologia

Como podem os isótopos radioativos ser úteis em Arqueologia?

É possível determinar a idade dos fósseis a partir de material radioativo, conforme já foi referido anteriormente.

O carbono-14, isótopo radioativo natural do elemento carbono é produzido continuamente na atmosfera, entrando no processo de fotossíntese e por isso todos os seres vivos o possuem na sua composição geral. A sua absorção através do consumo de alimentos, compensa, a quantidade que é perdida devido ao decaimento radioativo do isótopo. Em caso de morte, a absorção cessa abruptamente e, daí em diante só ocorre o decaimento em taxas fixas.

Sabe-se que o tempo de meia vida do carbono-14 é de 5730 anos. Este é o tempo que o carbono-14 leva para transformar metade dos seus átomos em carbono-12. A datação de um fóssil pode ser feita com base na percentagem determinada do carbono-14 em relação ao carbono-12 presente na matéria viva, sem decomposição.

Outros elementos, isótopos radioativos, como o chumbo-210 e o potássio-40 também são usados na datação de rochas. O cloro-36 e o trítio, H-3, são utilizados para medir a idade da água do solo.

5.3 Na Indústria

Qual é a utilidade da radioatividade na Indústria?

O controlo de qualidade de texturas e soldas em tubos, chapas metálicas e peças fundidas é frequentemente realizado usando radiografias obtidas com raios X de alta energia ou radiação gama de média e alta energia. Utilizam-se fontes de radiação gama, como o irídio-192, cézio-137 e cobalto-60.

APSA C-1.1: Radioatividade

Questão-problema: Como foi descoberta a radioatividade?

Objetivos: Elaboração da história da descoberta da radioatividade.

Recursos:

- Manuais
- Computador com acesso à Internet

Procedimento:

1. Elabore uma pesquisa sobre a história da descoberta da radioatividade.
2. Construa cartazes para divulgação dos trabalhos desenvolvidos.

APSA C-1.2: Radiação ionizante

Questão-problema: Como se utiliza a radiação ionizante na Medicina, na Arqueologia e na Indústria?

Objetivos: Elaboração de uma pesquisa sobre as aplicações da radiação ionizante na Medicina, na Arqueologia e na Indústria.

Recursos:

- Manuais
- Computador com acesso à Internet

Procedimento:

1. Elabore uma pesquisa sobre as aplicações da radiação ionizante na Medicina, na Arqueologia e na Indústria.
2. Sistematize os resultados num relatório.

APSA C-1.3: Energia nuclear

Questão-problema: Quais as vantagens e desvantagens das aplicações da energia nuclear?

Objetivos: Elaboração de uma pesquisa sobre as vantagens e desvantagens da energia nuclear.

Recursos:

- Manuais
- Computador com acesso à Internet

Procedimento:

1. Elabore uma pesquisa sobre as vantagens e desvantagens das aplicações da energia nuclear.
2. Construa cartazes para divulgação dos trabalhos desenvolvidos.

Resumo

- Um nuclido instável decai noutros nuclidos estáveis, emitindo radiações α , β ou γ .
- A Lei do Decaimento Radioativo é dada pela expressão: $N = N_0 e^{-\lambda t}$.
- O tempo de meia vida ou período de semidesintegração é o tempo que decorre até que o número de núcleos radioativos se reduza a metade do valor inicial.
- A atividade de uma amostra radioativa é o número de decaimentos por unidade de tempo.
- A dose de radiação absorvida, D , é a energia transferida pela radiação por unidade de massa do material irradiado.
- A dose-equivalente biológica, H , é dada por $H = Q D$.

Questões para resolver

1. O núcleo do átomo ${}_{92}^{238}\text{U}$ emite uma partícula α , originando um núcleo do elemento X; que por sua vez, emite uma partícula β^- , originando um núcleo do elemento Y.

Determine o número atômico e o número de massa das partículas X e Y.

2. O oxigênio radioativo ${}_{8}^{15}\text{O}$ tem um tempo de meia vida de 2,1 minutos.

Determine:

2.1. A constante de decaimento radioativo, λ .

2.2. Quantos átomos radioativos existem numa amostra com uma atividade de $4,8 \times 10^5$ Bq.

2.3. O tempo necessário para que a atividade se reduza de um fator de 8.

3. Um certo elemento radiotivo tem um tempo de meia vida de 20 dias. Calcule:

3.1. O tempo necessário para que $\frac{3}{4}$ dos átomos inicialmente presentes se desintegrem.

3.2. A constante de desintegração e o período de decaimento.

4. Uma amostra de ${}^{128}\text{I}$ contém $2,0 \times 10^{10}$ átomos radioativos. Sendo o tempo de meia vida desse isótopo de 25 minutos, calcule o número de átomos que decaem por segundo.

5. O radão é um gás de origem natural, cujos átomos se desintegram originando outros elementos também radioativos causando todos eles exposição do Homem às radiações ionizantes. Todos os seus isótopos têm tempos de meia vida extremamente curtos e emitem radiação α , transformando-se em polônio. Sabendo que o tempo de meia vida do polônio-218 é de 3 minutos, determine a massa de polônio necessária para a fonte radioativa ter uma atividade de 1 GBq.

6. Um grupo de investigadores pretende determinar a época de uma embarcação encontrada ao largo de Díli, através da análise de um pedaço de madeira. A atividade devida ao ${}_{6}^{14}\text{C}$ é de 12,8 desintegrações por segundo por grama de material. Sabendo que o período de decaimento do carbono-14 é de 5730 anos e a madeira nova do mesmo tipo tem uma atividade de ${}_{6}^{14}\text{C}$ é de 13,5 desintegrações por segundo por grama, determine em que época foi usada a madeira.