

Partícula /radiação	Caracterização	Representação
Protão	Partícula constituinte do núcleo atômico, com massa e carga unitárias, de carga positiva	${}^1_1\text{p}$
Neutrão	Partícula constituinte do núcleo atômico, com massa unitária e sem carga	${}^1_0\text{n}$
Elétron	Partícula constituinte do átomo, na zona extranuclear, praticamente sem massa e com carga negativa; pode surgir no núcleo, por emissão radioativa	$\beta^-$ ou ${}^0_{-1}\text{e}$
Positrão	Antipartícula do elétron, praticamente sem massa e com carga positiva	$\beta^+$ ou ${}^0_{+1}\text{e}$
Neutrino	Partícula sem carga e de massa muitíssimo pequena. É muito abundante no universo e interage muito debilmente com a restante matéria	$\nu$
Antineutrino	Antipartícula do neutrino	$\bar{\nu}$
Alfa	Núcleo de hélio	$\alpha$ ou ${}^4_2\text{He}$
Radiação gama	Radiação da mais alta energia do espectro eletromagnético	$\gamma$

Tabela 1 – Partículas, antipartículas e radiações intervenientes em reações nucleares.

As reações nucleares representam a conversão de núcleos atômicos envolvendo rearranjo de prótons e neutrões. Por exemplo:



Note-se que nestas reações há conservação do número atômico e do número de massa.

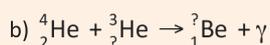
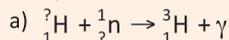
- A soma dos números de massa das partículas nos reagentes tem de ser igual à soma dos números de massa das partículas nos produtos.
- A soma dos números atômicos das partículas nos reagentes tem de ser igual à soma dos números atômicos das partículas nos produtos.

Assim, na reação anterior, para o número de massa, vem  $2 + 2 = 3 + 1$  e para o número atômico, vem  $1 + 1 = 2 + 0$ .

### Questão



Completa os índices em falta para cada uma das equações nucleares seguintes.



Resposta: a)  ${}^2_1\text{H} + {}^1_0n \rightarrow {}^3_1\text{H} + \gamma$     b)  ${}^4_2\text{He} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^7_1\text{Be} + \gamma$

Existem dois tipos importantes de reações nucleares, as reações de fusão nuclear e as reações de fissão nuclear.

## I. Fusão nuclear

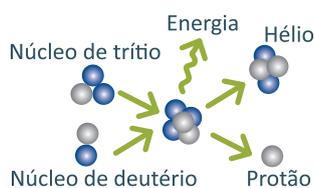


Figura 6 – Esquema de uma fusão.

A fusão nuclear é uma reação em que pequenos núcleos se juntam (fusão), para produzir núcleos atômicos de maior massa com liberação de energia. A figura 6 diz respeito à fusão de um núcleo de deutério e de um núcleo de trítio, dois isótopos do elemento hidrogênio, respectivamente simbolizados por  ${}^2_1\text{H}$  e  ${}^3_1\text{H}$ .

Esta transformação pode representar-se deste modo:



Analisando a representação anterior, pode ver-se que há conservação do número atômico e do número de massa, ou seja, a soma dos números atômicos das partículas reagentes é igual à soma dos números atômicos das partículas produzidas na reação. A carga e a massa são conservadas no decorrer de uma reação nuclear.

## II. Fissão nuclear

A fissão nuclear é uma reação em que núcleos de átomos pesados são bombardeados com nêutrons, dando origem a dois fragmentos de massas semelhantes e à emissão simultânea de partículas subatômicas, como nêutrons, e muita energia (radiação  $\gamma$ ). A figura 7 ilustra uma reação genérica de fissão nuclear.

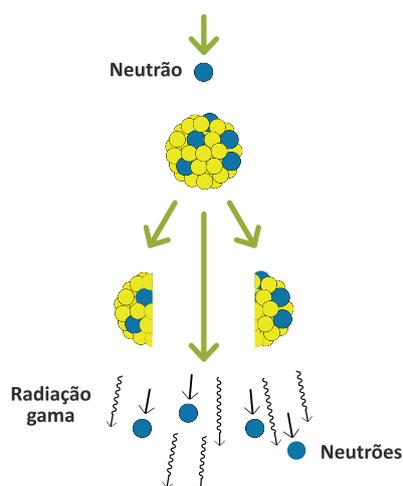


Figura 7 – Esquema de uma reação de fissão nuclear.

O urânio-235 é uma fonte de energia nas reações de fissão em que participa. Uma delas pode representar-se por:



### 2.2.2 Alguns tipos de emissões radioativas

Quando ocorrem reações nucleares podem ser emitidas radiações, chamadas emissões radioativas, ou radioatividade. A radioatividade pode ter diferentes naturezas.

## I. Emissão de partículas $\alpha$ ou decaimento $\alpha$

Como se indica na tabela 1, a partícula  $\alpha$  é um núcleo de hélio,  ${}^4_2\text{He}$ . Assim, quando um núcleo atômico emite uma partícula  $\alpha$ , origina um núcleo mais pequeno, com menos dois prótons e dois neutrões e um núcleo de hélio. Um exemplo desta emissão ocorre com um núcleo de urânio-235, originando um núcleo de tório-231 e um núcleo de hélio. Traduz-se pela equação:

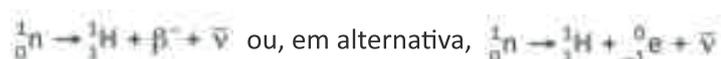


Note-se que, neste caso, não se trata de uma reação de fissão nuclear.

## II. Emissão de partículas $\beta^-$ e $\beta^+$

Quando no núcleo de um átomo, o número de prótons é igual ou muito próximo do número de neutrões, o núcleo é estável. O tipo de partículas em excesso determina as emissões  $\beta^-$  (ou  $\beta$ ) e  $\beta^+$ , como se descreve a seguir.

- Núcleos com excesso de neutrões decaem com emissão de eletrões, ou seja, por emissão  $\beta^-$ , ou simplesmente  $\beta$ . O neutrão transforma-se num próton, num eletrão e num antineutrino, de acordo com:



- Núcleos com excesso de prótons decaem com emissão de positrões, ou seja, por emissão  $\beta^+$ . Um próton transforma-se num neutrão, num positrão e num neutrino, segundo:



## III. Radiação $\gamma$

Radiação  $\gamma$  corresponde à emissão de radiação de elevada energia, que pode ocorrer aquando de emissões  $\alpha$  ou  $\beta$ , que tornaram o núcleo atômico muito energético.

Uma das tarefas de ciências forenses é a identificação de elementos num material e, de preferência, utilizando técnicas rápidas e não destrutivas das amostras usadas, dado que são provas num cenário criminal. Uma dessas técnicas é a análise por pulsos de neutrões rápidos (em inglês, *pulsed fast-neutron analysis*- PFNA). Nesta técnica, um feixe de neutrões é disparado de diferentes direções para um objeto. Os neutrões são absorvidos pelos núcleos dos átomos do objeto e, posteriormente, emitem energia na forma de raios  $\gamma$ . A energia destes raios tem um valor característico para cada elemento. Estes valores de energia podem ser apresentados numa distribuição de cores que identificam a localização de cada tipo de elemento. Estas técnicas permitem detetar bombas e armas na bagagem ou na carga que entra num avião ou, se ocorrer uma explosão, obter pistas nos destroços sobre o tipo de explosivo detonado.

## Controlo de Qualidade, Segurança e Saúde

### Diagnóstico usando radioisótopos

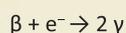


Certos isótopos emitem radiações nucleares que podem ser utilizadas para obter imagens de diagnóstico médico. As doses de radiação são cuidadosamente controladas, para evitar danos maiores do que os benefícios alcançados.

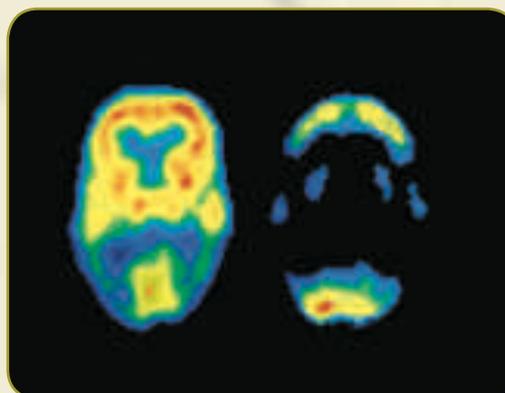
As radiações gama emitidas por amostras injetadas com isótopos radioativos permitem obter imagens, chamadas cintigrafias, de partes do corpo humano, nomeadamente de tumores, onde aqueles compostos se acumulem. O quadro seguinte mostra alguns isótopos usados em cintigrafias.

Isótopos	Parte do corpo estudada
Tálio-201	Coração
Iodo-131	Tiróide
Tecnécio-99	Tiróide, coração, cérebro, ossos, fígado e pulmões
Ferro-59	Glóbulos vermelhos
Fósforo-32	Olhos, fígado

Nos estudos por PET (*Positron Emission Tomography*) um radionuclídeo é injetado no doente e emite positrões. Os positrões emitidos colidem de imediato com eletrões e aniquilam-se mutuamente originando dois fótons de radiação gama:



Os fótons gama são detetados por equipamentos que transformam a radiação emitida numa imagem. A figura ao lado mostra uma imagem, obtida por PET, de um cérebro normal (esquerda) e de um cérebro de uma pessoa com doença de Alzheimer (direita).



### 2.2.3 Emissão de Raios X

Em 1895, o físico Wilhelm Roentgen (1845-1923), ao estudar a fluorescência provocada pelos raios catódicos, concluiu que, sempre que um feixe desses raios colide com um anteparo (vidro, metal,..), este torna-se emissor de uma radiação. Por não saber explicar a natureza da radiação descoberta, Roentgen chamou-lhe *raios X*. Sabe-se hoje que são radiações do espectro eletromagnético, cujas frequências se situam entre  $10^{17}$  e  $10^{19}$  Hz e, portanto, radiações de alta energia, muito próximas das dos raios gama.

Embora os raios X não resultem de emissões radioativas, têm propriedades semelhantes a estas, nomeadamente poder ionizante e poder penetrante.

Na produção dos raios X ocorre o efeito inverso do efeito fotoelétrico. Neste, a energia de um fóton é utilizada, em parte, para desligar um eletrão de uma estrutura, manifestando-se o resto como energia cinética desse eletrão. Na produção de raios X, um eletrão perde energia cinética e a isso corresponde o aparecimento de um fóton.

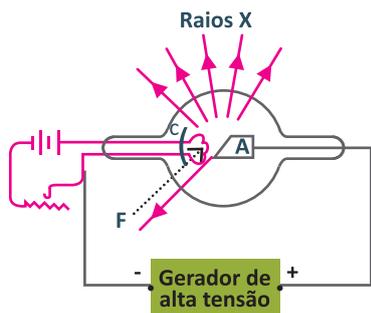


Figura 8 – Produção de raios X.

Para produzir raios X utilizam-se aparelhos do tipo do *tubo de Coolidge* (Fig. 8), que são tubos com vácuo muito elevado, em que o feixe de elétrons é emitido por um filamento de tungstênio incandescente, F, colocado em frente de um cátodo côncavo, C. O feixe é acelerado por alta tensão para o ânodo, A, colocado em frente ao cátodo.

O cátodo côncavo, C, que está ao mesmo potencial que o filamento, F, faz convergir as trajetórias dos elétrons no centro do ânodo, A. Os elétrons emitidos, por efeito termoeletrônico, convergem na região central do

ânodo e atingem-no com grande velocidade. No ânodo, bombardeado pelos elétrons, dá-se a emissão de raios X em todas as direções. Cada fóton de raios X corresponde a um elétron incidente e a sua energia é, no máximo, igual à energia cinética desse elétron.

De um modo geral, parte da energia cinética dos elétrons, ao chocarem com o ânodo, é transferida para este como calor, aquecendo-o, de modo que pode fundi-lo. Para evitar o inconveniente da fusão do ânodo, usam-se metais de ponto de fusão muito elevado, como tungstênio ou molibdênio.

Os diferentes tecidos animais absorvem desigualmente os raios X. A pele e os músculos, essencialmente constituídos por compostos com carbono ( $Z = 6$ ), hidrogênio ( $Z = 1$ ), oxigênio ( $Z = 8$ ) e azoto ( $Z = 7$ ), têm poder absorvente muito menor do que os ossos e os dentes, que contêm fósforo ( $Z = 15$ ) e cálcio ( $Z = 20$ ).

Assim, num registo chamado **radiografia**, podem ser detetadas fraturas de ossos, alterações dentárias, ou alterações na estrutura de tecidos (Fig. 9), ou ainda, podem ser localizados corpos estranhos.

Para se detetar lesões em órgãos do aparelho digestivo e do aparelho urinário, o paciente tem de receber «produtos de contraste» que contenham compostos de elementos de números atômicos elevados, como o bário e o iodo, os quais tornam opaco o órgão que se quer radiografar, uma vez que possuem elevado poder absorvente.



Figura 9 – Radiografia dos pulmões de um fumador.

Uma aplicação importante dos raios X em medicina, é a Tomografia Axial Computorizada (TAC). Trata-se de um exame de diagnóstico, que pode ser efetuado a qualquer parte do corpo utilizando raios X. A radiação é emitida para o local em estudo e a imagem é formada consoante a capacidade de absorção dos tecidos. Durante o exame são efetuadas várias imagens dos tecidos, visualizando-se o seu interior e exterior, como se estes fossem cortados em fatias horizontais (Fig. 10 B). Este exame permite detetar tumores, hemorragias, fraturas do crânio, alterações de órgãos, etc.

O aparelho tem um formato de anel circular aberto (Fig. 10 A). Neste, encontra-se a fonte de raios X e do lado contrário o detetor, que capta a radiação absorvida pelo tecido e transmite a informação ao computador do sistema do exame, que a transforma em imagens. À frente deste círculo existe uma cama onde a pessoa se deita. Esta cama, nos aparelhos convencionais, desliza ao longo do tomógrafo e fica fixa na zona a estudar, para aí serem emitidas as radiações.



Figura 10 – (A) Aparelho de TAC ou tomógrafo; (B) imagem obtida por TAC de um cérebro humano lesionado.

Os aparelhos mais recentes conseguem obter informação de uma forma contínua, permitindo, dentro de certos limites, reconstruir imagens de qualquer secção analisada, não se limitando aos «círculos» obtidos com as máquinas convencionais. Permitem também a utilização de doses menores de radiações, além de serem muito mais rápidos. A hélice é possível porque a mesa de pacientes, em vez de ficar parada durante a aquisição, durante o corte, avança continuamente durante a realização dos cortes.

#### 2.2.4 Poder penetrante e ionizante das diferentes radiações

Nem todas as emissões citadas anteriormente são ionizantes, nem têm o mesmo poder de penetração na matéria. No espectro eletromagnético, existe radiação ionizante e não-ionizante, sendo a principal diferença entre elas a energia e, portanto, a frequência ou o comprimento de onda.

As radiações não-ionizantes caracterizam-se por não possuírem energia suficiente para arrancar eletrões dos átomos do meio que atravessam, mas podem quebrar ligações químicas. Dessas radiações fazem parte as radiofrequências, infravermelhos e luz visível. As radiações ionizantes definem-se como as que têm energia suficiente para arrancar pelo menos um eletrão de um átomo do meio que atravessam. Assim, esse átomo deixa de ser neutro e passa a um ião positivo. Na categoria de emissões ionizantes existem dois grupos:

- As que têm carga elétrica associada, como as emissões de partículas alfa, beta ( $\beta^-$  e  $\beta^+$ ), e prótons;
- As emissões de partículas sem carga, como neutrões, e alguns tipos de radiação eletromagnética, como radiações UV, raios X e raios gama.

O poder de penetração que estas partículas e radiações têm nos materiais varia muito e, de um modo geral, quanto maior for o poder ionizante, menor é o poder de penetração. A figura 11 ilustra o poder penetrante das diferentes emissões e o tipo de material que as absorve.

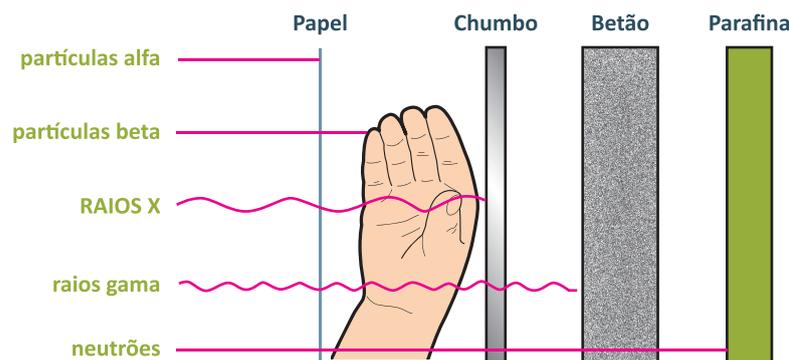


Figura 11 – Poder penetrante das diferentes emissões e respetivas barreiras.

Mas as radiações ionizantes podem ser perigosas para a saúde humana. Os efeitos são escalonados conforme a sua intensidade. Para pequenas intensidades, como aquelas que se recebe no dia-a-dia ou ao realizar um exame de raios X simples, o organismo acaba por conseguir reparar os pequenos danos que provocam, de modo que só muito raramente têm efeitos a longo prazo. Com o aumento das doses de radiações, aumenta a probabilidade de surgirem complicações que se tornem irreparáveis para o corpo humano. Com o aumento das doses de radiações, aumenta também a probabilidade de aparecerem efeitos hereditários, leucemia ou outros tipos de cancro. Como seria de esperar, para grandes doses, os efeitos são tanto mais graves quanto maior for a dose efetivamente recebida. Assim, as doses elevadas de radiações dão origem a queimaduras, anemia, esterilidade, cataratas e mesmo a morte.

Salienta-se a ação dos raios X sobre os tecidos do organismo humano, os quais podem provocar, em caso de exposição prolongada, queimaduras profundas, muito perigosas, e a destruição de células. As células mais sensíveis à ação dos raios X são as que proliferam rapidamente, como as dos tecidos embrionários e as dos tecidos cancerosos.

Por vezes é possível destruir tumores cancerosos pela ação, convenientemente doseada, dos raios X (*radioterapia*), utilizando raios X duros, isto é, de elevada energia, que atravessam os tecidos superficiais sem provocar queimaduras de pele (*radiodermites*) e vão destruir os tecidos cancerosos profundos.

Utilizam-se também em terapia do cancro raios gama, emitidos pelo cobalto-60, para destruir células doentes. A reação nuclear representa-se por:



## Atividade



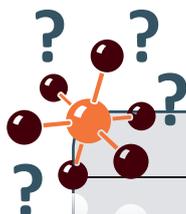
Pesquisar vídeos com simulações de Raios X e TAC no YouTube, como por exemplo:

<http://www.youtube.com/watch?v=Aam216HKOLQ>

<http://www.youtube.com/watch?v=yCMYp8NOFFc>

<http://www.youtube.com/watch?v=geEEHN6curE>

<http://www.youtube.com/watch?v=zAbQn4iZ47I>



## Mais Questões\*

1. Considera as seguintes representações simbólicas dos átomos A, B, C e D (nota que as letras não representam símbolos químicos).



- Indica, justificando, quais são isótopos do mesmo elemento.
- Indica a carga nuclear do átomo A.
- Indica dois átomos que tenham o mesmo número de neutrões.

2. Das seguintes frases, indica a única que é verdadeira.

- A carga elétrica do eletrão é positiva e a do protão é negativa.
- Há dois estados de *spin* do eletrão:  $m_s = +\frac{1}{2}$  e  $m_s = -\frac{1}{2}$
- Num átomo o número de protões e neutrões é sempre igual.
- O núcleo atómico possui sempre *spin*.

3. Indica os números correspondentes às letras de A a F que completam a tabela seguinte.

	Número atómico	Número de massa	Número de protões	Número de neutrões
${}^{56}\text{Fe}$	26	A	B	C
${}_{35}\text{Br}$	D	80	E	F

4. Considera as reações que se representam:  $\text{D} + \text{D} \rightarrow {}^3\text{H} + {}^1\text{H}$        $\text{D} + \text{D} \rightarrow \text{D}_2$        $\text{D} + \text{D} \rightarrow {}^3\text{He} + \text{n}$

- Que átomo está representado por D?
- Classifica-as como reações nucleares ou como reações químicas.
- Identifica os isótopos de hidrogénio presentes no conjunto destas reações.

5. Em 1945, uma bomba atómica foi lançada sobre Hiroshima, uma cidade japonesa, causando a morte a milhares de pessoas. Uma das reações nucleares que ocorreu pode ser representada por:



- Seleciona a alternativa que traduz corretamente a sequência: elemento X e valores de a e de b.  
(A) Ba; 96; 36      (B) Ba; 94; 36      (C) Kr; 94; 36      (D) Kr; 96; 34      (E) Ba; 94; 34
- Indica se esta reação é de fusão nuclear ou de fissão nuclear.

6. Seleciona a alternativa que substitui X, de modo que a equação seguinte represente uma reação nuclear.

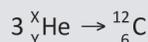


- ${}^2_1\text{H}$       (B)  ${}^3_2\text{He}$       (C)  ${}^0_{-1}\text{e}$       (D)  ${}^2_2\text{He}$       (E)  ${}^1_1\text{p}$

7. Considera a reação nuclear representada:  ${}^{12}_6\text{C} + \text{p} \rightarrow {}^A_A\text{Li} + {}^4_2\text{He} + {}^B_C\text{He}$

- Seleciona a opção que contém os números que devem figurar em A, B e C, por esta ordem.  
(A) 2; 2; 2      (B) 3; 2; 2      (C) 3; 3; 3      (D) 3; 3; 2      (E) 2; 2; 3
- Esta reação é uma reação de fissão nuclear? Justifica a resposta.

8. O carbono é um dos elementos químicos formados a partir de reações nucleares. Uma dessas reações nucleares envolve três núcleos de hélio:



- Para que o esquema anterior possa representar a reação nuclear referida, que valores devem ter X e Y?  
(A) X = 2 Y = 4      (B) X = 4 Y = 6      (C) X = 4 Y = 2      (D) X = 6 Y = 4
- A reação apresentada é uma reação de fissão ou de fusão nuclear? Justifica a resposta.
- Indica o número atómico e o número de massa do núcleo que se formaria se ocorresse a separação em duas partes iguais do núcleo de carbono obtido nesta reação.

\*Nota: Nas questões de escolha múltipla, deves selecionar a opção correta, exceto se te for pedido outro tipo de resposta.