

BIOFÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

META

Apresentar os principais fenômenos da radioatividade e as propriedades físicas das radiações ionizantes.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:

- descrever o que é radioatividade;
- diferenciar radiação corpuscular e eletromagnética;
- diferenciar radiação ionizante e não-ionizante;
- definir tempo de meia-vida; e
- explicar por diagramas as diferentes formas de emissões radioativas.

PRÉ-REQUISITOS

Pré-requisito: Para o bom entendimento desta aula é interessante para o aluno fazer uma revisão da estrutura e representação dos átomos.



Aparelho emissor de radiação gama. Técnica da radioterapia utilizada no tratamento de câncer da mama (Fonte: <http://novastecnologiassaude.blogspot.com>).

INTRODUÇÃO

Neste capítulo abordaremos as propriedades biofísicas de algumas radiações ionizantes usadas na Biologia e na Medicina. Serão introduzidos alguns conceitos básicos sobre a radioatividade, assim como, os principais tipos de emissões radioativas pelo núcleo de átomos instáveis. O conhecimento físico destas propriedades é de fundamental importância para o entendimento de como acontece a interação da radiação com a matéria, dos seus efeitos biológicos e dos procedimentos básicos de proteção radiológica específicos para cada tipo de radiação. Vale salientar que nenhum indivíduo ou profissional deve estar exposto à radiação sem que seja necessário ou que tenha conhecimento dos riscos radiológicos associados àquela exposição.



Colete de proteção ionizante (Fonte: <http://www.cefetsc.edu.br>).

BIOFÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

RADIOATIVIDADE

As radiações foram descobertas acidentalmente através da observação de que um minério de urânio era capaz de sensibilizar (escurecer) um filme fotográfico. Outros elementos, tais como o rádio e o polônio, também emitiam radiações capazes de sensibilizar filmes fotográficos. Os átomos que apresentavam esta propriedade foram chamados de radioativos sendo estes elementos denominados de radio-nuclídeos. Os átomos estáveis não emitem radiação. Os instáveis apresentam excesso de energia nuclear e tendem a perder esta energia de forma espontânea, em busca de uma maior estabilidade energética. Esta energia perdida pode ser na forma de emissão de partícula ou de onda eletromagnética (Fig. 57).

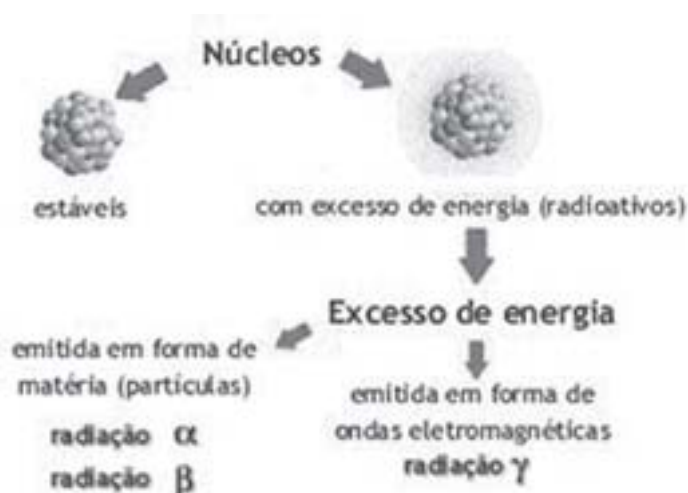


Figura 57. Emissão de radiação em forma de partícula (α ou β) ou em forma de radiação eletromagnética (γ) por núcleos instáveis (radioativos) (Cardoso et al., 2009, p.5).

Podemos, então, classificar a radiação emitida por núcleos instáveis em dois tipos:

1. *radiação corpuscular* - energia emitida pelo núcleo do átomo na forma de partícula dotada de massa. A radiação corpuscular pode ou não transportar carga elétrica. São exemplos de radiação corpuscular as partículas alfa (α), beta positiva (β^+), beta negativa (β^-), nêutron (n), entre outras (Okuno, 2007, p.13).
2. *radiação eletromagnética* - são fótons de origem nuclear também conhecidos como radiação gama (γ) e que apresentam características elétricas e magnéticas e se propagam com uma velocidade de 300.000 km/s.

Tais radiações não apresentam massa nem carga elétrica e podem se propagar no vácuo.

A eletrosfera dos átomos também pode emitir radiações eletromagnéticas quando um elétron se desexcita, isto é, quando o elétron que absorveu energia e mudou de orbital, retorna ao seu orbital de origem. Entre os fótons produzidos neste processo estão as ondas de rádio, ondas de televisão, micro-ondas, infravermelho, visível, ultravioleta e raios X. Contudo, não se deve confundir estas radiações eletromagnéticas com aquelas de origem nuclear (radiações gama).

Por que alguns núcleos são estáveis e não emitem radiação, enquanto outros são instáveis e podem apresentar vários tipos de emissão?

- No núcleo atômico atuam duas forças, a elétrica (repulsão) e a nuclear (atração). Estas forças diminuem de intensidade quando a distância entre as partículas aumenta. A força nuclear se enfraquece muito mais rapidamente com a distância do que a força elétrica. Quando o núcleo contém excesso de prótons e nêutrons, a distância entre estas partículas diminui e a repulsão elétrica começa a vencer a atração da força nuclear também chamada de força forte. As forças no núcleo começam a ficar desbalanceadas fazendo com que o núcleo atômico perca energia para encontrar uma situação de maior estabilidade. Assim, eles se tornam radioativos (Cardoso & Barroso, 2009, p.2).

A radioatividade de um átomo instável diminui com o passar do tempo. Essa diminuição de atividade é chamada de *decaimento* nuclear. Quando um átomo sofre decaimento ele perde energia do seu núcleo. Com isto ele pode sofrer uma transmutação ou uma desexcitação. Na transmutação existe uma variação do número de prótons e/ou de nêutrons do núcleo e o elemento se transforma noutro elemento. Assim, o fenômeno conhecido como desintegração radioativa acaba por produzir a *transmutação* do elemento. Quando um átomo emite radiação corpuscular (α , β^+ , β^-) sempre ocorre uma transmutação do seu núcleo.

Quanto maior a instabilidade do núcleo mais rapidamente ele decairá por emissão de radiação. Após a emissão, o núcleo adquire maior estabilidade energética. Os núcleos que apresentam a mesma quantidade de prótons e nêutrons e têm número atômico (Z) menor do que 20, são bastante estáveis. Um exemplo de um átomo estável (não-radioativo) é o nitrogênio-14. Este elemento tem 7 prótons e 7 nêutrons. A relação entre prótons e nêutrons é 1. Por outro lado, o carbono-14 é um elemento instável, possuindo apenas 6 prótons e 8 nêutrons. Os núcleos com massa atômica acima de 20 apresentam uma quantidade relativamente maior de nêutrons. Este excesso torna o átomo instável (Conde-Garcia, 1998, p.302). Quanto maior for a instabilidade nuclear, menor será o tempo de meia-vida do átomo.

Tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) – é o tempo requerido para que metade dos átomos radioativos de uma amostra sofra decaimento. Após um tempo de meia-vida, a energia da amostra radioativa reduz-se à metade da energia inicial. Um radionuclídeo com meia-vida longa decai mais lentamente do que aquele que tem meia-vida curta (Okuno, 1982, p.42)

O Curie (Ci) é uma unidade de atividade radioativa e corresponde a $3,7 \times 10^{10}$ dps (desintegrações por segundo). Esta atividade equivale aproximadamente à quantidade de desintegração produzida por 1 grama de ^{226}Ra . Uma outra unidade usada para medir a atividade de uma amostra é o Becquerel (Bq) que equivale a 1 dps. Assim, $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ (Okuno, 2007, p.24).

O iodo-131 possui um $t_{1/2}$ de 8 dias. O que isto significa? Significa que neste intervalo de tempo a energia da amostra de iodo será a metade da energia inicial. Considerando uma amostra de iodo com uma atividade inicial de 1000 Ci, então a cada 8 dias a sua atividade reduz-se à metade. Assim, para no primeiro intervalo de tempo igual a um $t_{1/2}$ a atividade cairá para 500 Ci, no segundo $t_{1/2}$ ela será de 250 Ci, no terceiro de 125 Ci, no quarto 62,5 Ci e assim sucessivamente. Isso significa que, para cada tempo de meia-vida, a atividade é reduzida à metade da anterior, até atingir um valor insignificante que não pode mais ser detectada (Cardoso, 2009, p.9).

Cada elemento radioativo possui um $t_{1/2}$ característico. A Tabela 1 mostra o tempo de meia-vida de alguns radionuclídeos.

Tabela 1. Meia-vida física ($t_{1/2}$) de alguns radionuclídeos

Radionuclídeo	Símbolo	$t_{1/2}$
Carbono	^{14}C	5.730 anos
Iodo	^{131}I	8 dias
Iodo	^{125}I	60 dias
Rádio	^{226}Ra	1.620 anos
Tecnécio	^{99}Tc	6 horas
Cobalto	^{60}Co	5.200 anos

(Fonte: Heneine, 2006, p.345; Conde-Garcia, 1998, p. 305).

O decaimento dos radionuclídeos segue uma lei exponencial, ou seja, a energia decai exponencialmente com o tempo. Existe uma maneira matemática de se calcular a atividade de uma amostra radioativa num dado instante. Para isso, é preciso saber o tempo de meia-vida deste elemento e a atividade da amostra no tempo zero (A_0) ou a atividade desta amostra

num dado tempo t qualquer (A_t). A Eq. 1 mostra como calcular a atividade de uma amostra radioativa:

Eq. 1 $A_{(t)} = A_o \cdot e^{-\lambda t}$

Onde:

sendo: $\lambda = \frac{0,693}{t_{1/2}}$

$A_{(t)}$ - atividade no tempo t

A_o - atividade inicial ($t = 0$)

então: $A_{(t)} = A_o \cdot e^{-\left(\frac{0,693}{t_{1/2}}\right) \cdot t}$

e - log neperiano

Exercício: Um paciente recebeu 3,5 mCi de I^{131} , por via oral, para realizar uma cintilografia de pesquisa de refluxo esofágico. Considerando que o elemento tem uma $t_{1/2}$ de 8 dias, qual a atividade deste material 72 horas após a administração do iodo?

Comentário: Você precisará de uma calculadora científica para fazer este cálculo. Devemos converter o tempo, que está em horas, para dias. Então, 72 horas equivale a 3 dias. O t será de 3 dias. Vamos substituir os valores, fornecidos no exercício, na Eq. 1.

$$A = 3,5 \times e^{-0,693/8 \times 3}$$

$$A = 3,5 \times e^{-0,086 \times 3}$$

$$A = 3,5 \times e^{-0,259}$$

$$A = 3,5 \times 0,7711$$

$$A = 2,69 \text{ mCi}$$

Resposta = Após 3 dias, o ^{131}I terá sua a atividade diminuída e igual a 2,69 mCi.



ATIVIDADES

Um fármaco marcado com ^{125}I ($t_{1/2} = 60$ dias) foi injetado em um camundongo, por via endovenosa, com a finalidade de investigar a sua metabolização. Após 10 dias, este elemento tinha uma atividade de 1.200 mCi. Quanto foi a atividade do iodo administrada no animal?

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Neste exercício, você irá calcular a atividade inicial (A_o) do iodo. Você deverá encontrar um valor de aproximadamente 1.348 mCi. Se você não encontrou este valor refaça seus cálculos.

As radiações podem ainda ser classificadas como *ionizantes* ou *não-ionizantes*. As radiações ionizantes promovem *ionização* do átomo que ela interage (átomo-alvo) enquanto que a radiação não-ionizante promove a *excitação* do átomo-alvo.

1. *Ionização* – a ionização acontece quando a radiação transfere para o elétron, parte ou toda a sua energia, e este elétron é ejetado (arrancado) do átomo (Fig. 58). O átomo, ao perder elétrons, se transforma em um íon positivo. Na ionização, ocorre a formação de par iônico (íon positivo e elétron negativo). Os elétrons ejetados na ionização saem do átomo com energia cinética (velocidade) podendo provocar ionização de outros átomos (ionização secundária). O espaço vazio deixado pelo elétron que foi ejetado pela radiação é chamado de vacância. O preenchimento desta vacância ocorre, espontaneamente, por elétrons de orbitais mais externos.

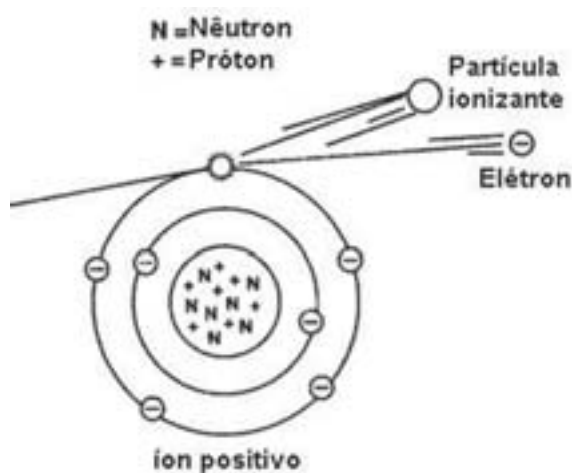


Figura 58. Ionização do átomo pela radiação (Fonte: <http://www.fas.org>).

2. *Excitação* – esse fenômeno acontece quando a radiação transfere para o elétron parte de sua energia. Ao absorver a energia da radiação, o elétron passa de um orbital mais interno (menor energia) para um orbital mais externo (maior energia) (Fig. 59). Logo depois, o elétron retorna para a sua camada de origem perdendo energia na forma de radiação eletromagnética.

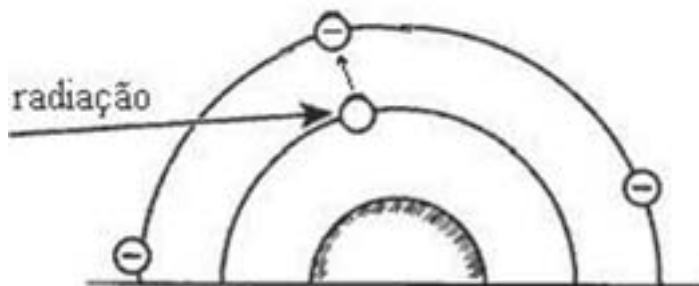


Figura 59. Excitação do átomo pela radiação (Fonte: www.fas.org).

DESCOBERTA DAS RADIAÇÕES CORPUSCULARES E ELETROMAGNÉTICAS

As radiações foram descobertas em 1899 por Rutherford. No experimento, uma amostra de urânio-226 foi colocada em um recipiente de chumbo e submetida a um campo elétrico (Fig. 60). O feixe de radiação após passar pelo campo elétrico formado por dois eletrodos, o cátodo (negativo) e ânodo (positivo) incidia em um filme fotográfico posicionado na parte superior. Após revelar o filme fotográfico, Rutherford observou que a radiação, emitida pelo urânio, tinha formado três manchas escuras no filme. A radiação que sofreu desvio para o polo negativo deveria ser um feixe energético de partículas positivas denominadas de partículas alfa (α). A radiação que sofreu desvio para o polo positivo deveria, então, ser um feixe energético de partículas negativas denominadas partículas betas (β). A partícula beta como é bem mais leve do que a alfa sofreu um maior desvio no campo elétrico. A radiação que não sofreu desvio pelo campo elétrico, chamada de radiação gama (γ), foi descoberta 1 ano depois por Curie e Villard (1900). A radiação gama se trata de uma radiação eletromagnética sem carga elétrica e, por isso, não sofreu influência do campo elétrico.

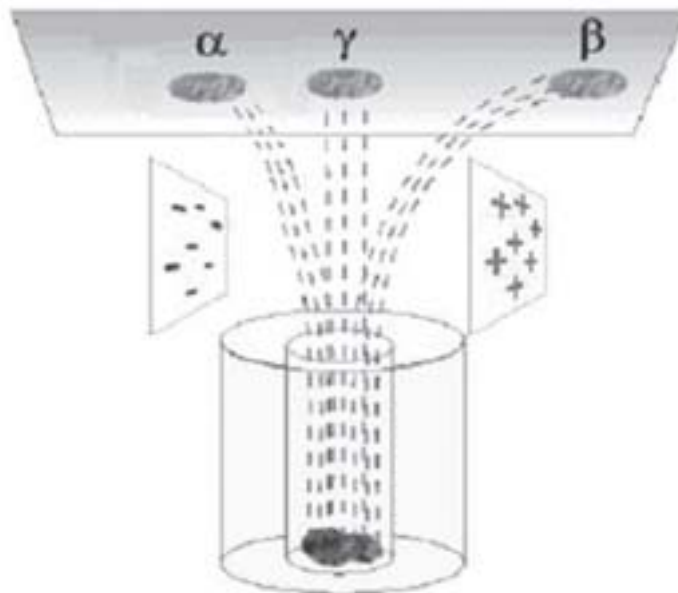


Figura 60. Descobertas das radiações corpusculares (α e β) e eletromagnética (γ). (www.cnen.com.br, modificado por Vasconcelos, C.M.L.)

ENERGIA DAS RADIAÇÕES

As emissões radioativas (α , β , γ e raio X) possuem alta energia. Essa energia é geralmente medida em elétron Volt (eV). O eV representa a energia cinética final que um elétron adquire quando é acelerado entre dois pontos cuja a diferença de potencial (ddp) é de 1 volt (Heneine, 2006, p.343). Imagine dois pontos A e B com uma ddp de 1 Volt (Fig. 61). O elétron está no ponto A e, frente a esta diferença de potencial, ele será acelerado e quando atingir o ponto B terá uma energia cinética de 1 eV.

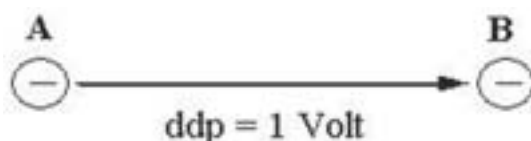
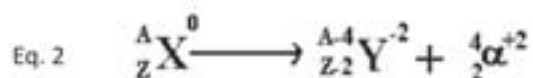


Figura 61. Energia cinética do elétron submetida a uma diferença de potencial de 1 Volt (Heneine, 2006, p.343).

PARTÍCULA ALFA (α)

A radiação α é uma partícula formada por 2 prótons e 2 nêutrons, portanto, uma partícula α possui uma massa atômica (A) igual a 4 e um número atômico (Z) igual a 2. A partícula tem massa e número atômico semelhante ao átomo do hélio (He) (Heneine, 2006, p.341). Os elementos radiativos emissores de partícula são átomos mais pesados com um número atômico maior do que 82 (Knoche, 1991, p.31, Conde-Garcia, 1998, p.306), tais como urânio, tório, rádio, plutônio, polônio, etc. Quando um átomo emite uma partícula a dá origem a um elemento filho com uma massa diminuída em 4 unidades e um número atômico diminuído em 2 unidades. Se após a emissão de uma partícula o átomo continuar instável, com excesso de energia, pode haver emissão de radiação gama. As equações 2 e 3 mostram, respectivamente, a equação geral do decaimento e um exemplo do decaimento do rádio-226.



A Fig. 62 mostra uma forma de representar um decaimento por emissão α . O elemento emissor é o polônio-214, a meia-vida física deste elemento é de $1,64 \times 10^{-4}$ s e a energia total para ocorrer a transmutação é de 7,833 MeV. Podemos observar, no esquema, que o Po-214, em 99,9 % dos casos, emite uma partícula α_1 com energia de 7,686 MeV e, então, transforma-se em chumbo-210. Em 0,01 % dos casos, o polônio-214 emite uma partícula α_2 com energia inferior, igual a 6,904 MeV. Esta partícula, como tem energia menor, não consegue retirar toda energia acumulada no núcleo, que fica em estado excitado. Desta forma, o átomo emite radiação gama e se transforma em chumbo-210. Quando há emissão de partícula positiva, a seta que representa o decaimento, é apontada para baixo e para a esquerda. E na emissão gama, como ela não tem carga, o decaimento é representado com uma seta para baixo.

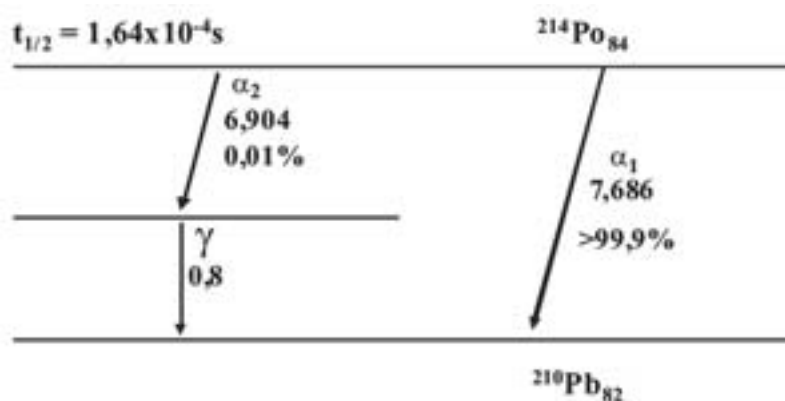


Figura 62. Diagrama do decaimento do elemento polônio-214 por emissão alfa (Conde-Garcia, 1998, p.306).

A partícula α , por apresentar grande massa, se propaga de forma retilínea no ar. Ao se propagar, ela promove ionização dos átomos do ar promovendo ejeção de vários elétrons. A sua trajetória retilínea e os elétrons ejetados, chamados de raios delta (ramificações que partem da trajetória da partícula α), podem ser vistos em câmara de bolhas de Wilson (Fig. 63).



Figura 63. Trajetória retilínea de uma partícula alfa na câmara de bolhas de Wilson. As ramificações observadas ao longo da sua trajetória são elétrons ejetados pela radiação alfa. Estes elétrons são chamados de raios delta (Conde-Garcia, 1998, p.306).

A partícula α é uma radiação altamente ionizante. Uma partícula α perde 33 eV de energia por ionização. Desta forma, uma partícula α emitida pelo rádio-226, com uma energia cinética de 4,8 MeV, produz 145.000 ionizações antes de parar. Entretanto, a ionização, promovida por ela, não é constante ao longo da sua trajetória (Okuno et al., 1986, p.08). Como isto acontece? Uma partícula α , ao se propagar tem sua velocidade diminuída por transferência de energia para os átomos do meio. Então, no início de sua trajetória, como a velocidade de propagação é alta, ela interage menos com os átomos do meio e, conseqüentemente, ioniza menos. À medida que a velocidade de propagação diminui, aumenta o número de interações com o meio, aumenta o número de ionização. No final de sua trajetória, quando sua velocidade de propagação é baixa, a partícula α absorve 2 elétrons e se transforma em um átomo de hélio. O “Straggling” mostra o número de pares iônicos (ionização) produzidos pela partícula α em função da distância percorrida por ela (Fig. 64).



Figura 64. Número de pares iônicos (ionização) formados pela partícula α em função da distância percorrida no ar em centímetros (Conde-García, 1998, p. 307).

O alcance de uma partícula α , distância percorrida antes de parar, é muito pequena e depende do meio de propagação e da energia da radiação. Por exemplo, uma partícula α com energia igual a 5 MeV tem um alcance de 3,5 cm no ar e $2,06 \times 10^{-3}$ cm no alumínio. A Fig. 65 mostra a distância percorrida no ar por partículas α em função da sua energia. Pode-se observar que quanto maior a energia da partícula α maior a distância percorrida por ela.

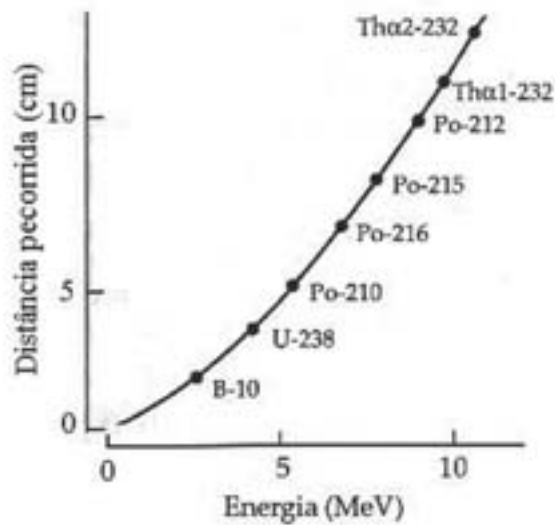


Figura 65. Distância percorrida pela partícula alfa (cm) em função de sua energia em MeV (Conde-Garcia, 1998, p. 307).

Como o alcance é pequeno, a partícula α pode ser facilmente blindada com uma folha de papel (Fig. 66). Mesmo sem blindagem, a partícula α não consegue atravessar a pele humana.

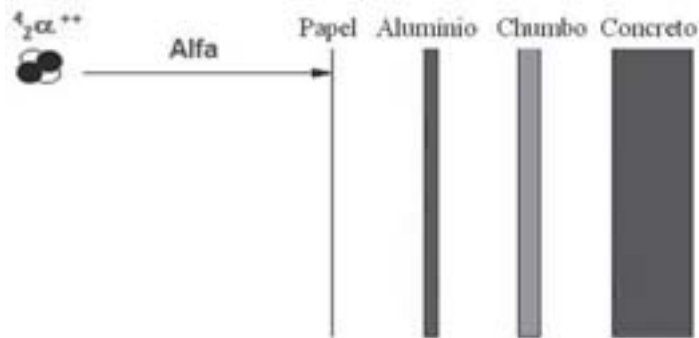


Figura 66. Blindagem da partícula alfa por uma folha de papel.

PARTÍCULA BETA (β)

A radiação beta, por ser uma partícula dotada de massa, é classificada como um tipo de radiação corpuscular. Ela tem massa pequena, similar ao do elétron, e pode ser negativa (β^- , nêutron ou elétron) ou positiva (β^+ , pósitron ou anti-elétron). Os átomos radioativos emissores de partícula β apresentam uma massa intermediária, geralmente possuem núme-

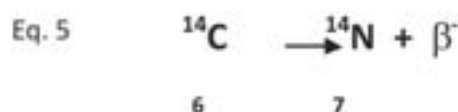
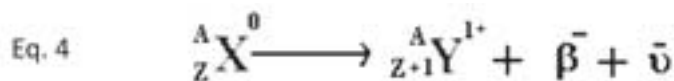
ro atômico menor de 84. Por ser uma partícula leve, a trajetória de uma partícula β é tortuosa (Fig. 67).



Figura 67. Trajetória tortuosa de uma partícula beta negativa vista em câmara de bolhas de Wilson (Conde-Garcia, 1998, p. 309).

EMISSÃO β^-

Para aumentar a estabilidade de núcleos que têm excesso de nêutrons, ocorre a transformação de nêutron em próton com emissão de partícula β^- pelo núcleo do átomo. O elemento filho, originado deste decaimento, apresenta a mesma massa do elemento pai, mas o número atômico é aumentado em uma unidade. Na conversão de nêutron em próton, é liberado o antineutrino ($\bar{\nu}$). O antineutrino não possui nem carga elétrica nem massa. As equações 4 e 5 mostram, respectivamente, a equação geral do decaimento β^- e um exemplo do decaimento do carbono-14.



A Fig. 68 exemplifica um diagrama de decaimento por emissão β^- . O elemento emissor é o carbono-14, a meia-vida física deste elemento é de 5.730 anos e a energia total para ocorrer a transmutação é de 0,156 MeV. Podemos observar, no esquema, que o carbono-14, em 100 % dos casos, emite uma partícula β^- com energia de 0,156 MeV e, então, transforma-se em nitrogênio-14. Como a partícula β^- retirou toda a energia do núcleo, não houve emissão de radiação gama. Quando há emissão de partícula negativa, a seta que representa o decaimento, é apontada para baixo e para a direita (\searrow).

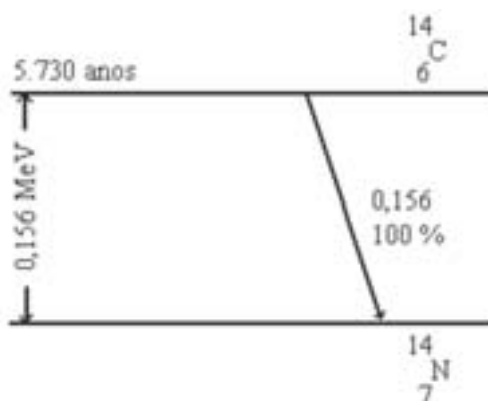
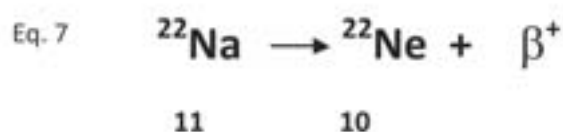
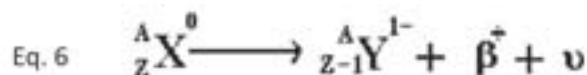


Figura 68. Decaimento do carbono-14 por emissão de partícula beta negativa (Conde-Garcia, 1998, p.309).

EMISSÃO β^+

Ocorre emissão β^+ quando um núcleo tem excesso de prótons em seu interior e, portanto, deficiência de nêutrons. Para aumentar a estabilidade do núcleo, ocorre a transformação de um próton em um nêutron com emissão de partícula β^+ pelo núcleo do átomo. O elemento filho, originado deste decaimento, apresenta a mesma massa do elemento pai, mas o número atômico é diminuído em uma unidade. Na conversão de próton em nêutron, é liberado o neutrino. As equações 6 e 7 mostram, respectivamente, a equação geral do decaimento β^+ e um exemplo do decaimento do sódio-22.



A Fig. 69 exemplifica um diagrama de um decaimento por emissão β^+ . O elemento emissor é o sódio-22, a meia-vida física deste elemento é de 2.605 anos e a energia total para ocorrer a transmutação é de 2,842 MeV. Podemos observar, no esquema, que o sódio-22, em 90% dos casos, emite uma partícula β_1^+ com energia de 0,545 MeV seguido de emissão gama e, então, se transforma em Ne-22. Em apenas 0,06 % dos casos, o Na-22 emite uma partícula β_2^+ com energia de 1,82 MeV. Também pode acontecer, em 10% do tempo do decaimento, captura de elétrons.

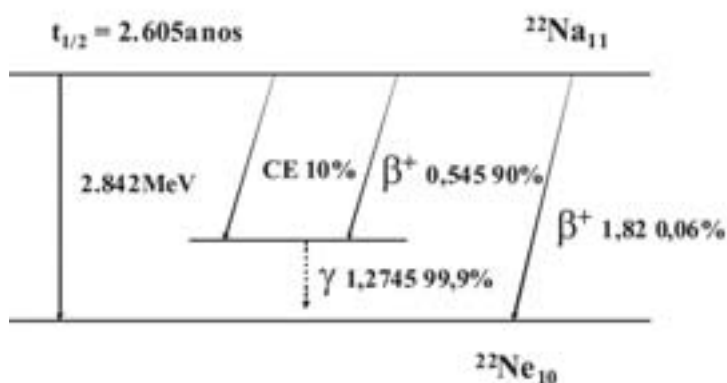


Figura 69. Diagrama do decaimento do elemento sódio-22 por emissão de partícula beta positiva (Conde-Garcia, 1998, p. 311).

Por ser uma partícula muito leve, o alcance da partícula beta é maior do que a da partícula alfa, na ordem de metros no ar. Por exemplo, uma partícula beta emitida pelo P-32 com uma energia de 1,71 MeV tem um alcance de aproximadamente 700 cm no ar (www.butantan.gov.br/reagentes/radioprotecao.ppt). O papel não consegue blindar a partícula beta sendo necessário, então, um material de maior densidade para blindar esta radiação. A Fig. 70 mostra que a partícula beta pode ser blindada por uma placa de alumínio.

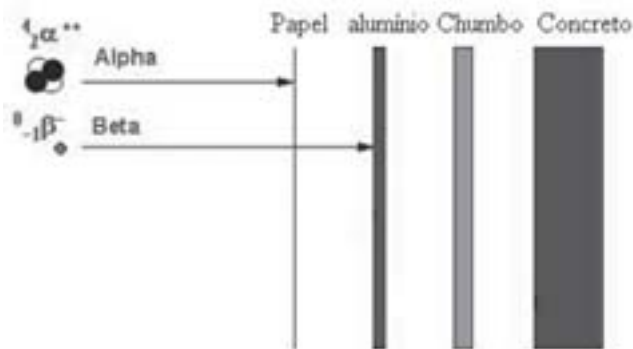
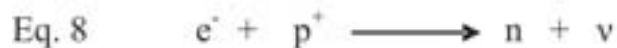


Figura 70. Blindagem da partícula beta por uma placa de alumínio.

CAPTURA DE ELÉTRONS OU CAPTURA K

A captura de elétrons ocorre quando o núcleo do átomo possui excesso de prótons, ou seja, excesso de carga positiva. Para aumentar a estabilidade nuclear, o núcleo passa a capturar elétrons, geralmente da camada K (Fig 71-1). O elétron, ao entrar no núcleo, sofre fusão com

um próton que se transforma em nêutron (Eq. 8). Com isto, ocorre diminuição do número de prótons do átomo-filho sem alteração na massa atômica (Eq. 9).



A captura eletrônica é considerada uma variação do decaimento β^{+} porque a conversão de próton em nêutron ocorre da mesma forma (Knoche, 1991, p.46). Em 90 % dos casos ocorre captura de elétrons da camada K, 10 % da camada L e 1 % da camada M. O núcleo emite um neutrino e radiação γ (Fig. 71-2)(Conde-Garcia, 1998, p.311; Heneine, 2006, p. 342).

A captura de elétrons para o interior do núcleo deixa a eletrosfera com espaços vazios, chamados de vacância. O preenchimento destas vacâncias ocorre por elétrons de orbitais mais externos. Na passagem do elétron de uma camada mais externa para uma mais interna (fenômeno da desexcitação) ocorre perda de energia na forma de raios X característicos (Fig 71-3). Os raios X só são emitidos quando a vacância está situada nas camadas K e L. A energia do raio X produzido pode, ao se propagar, ser absorvida por outro elétron orbital, podendo este elétron ser ejetado do átomo. O elétron quando ejetado devido a absorção interna do raio X, é chamado elétron *Auger* (pronuncia “ô-zei) (Conde-Garcia, 1998, p.311; Knoche, 1991, p.48).

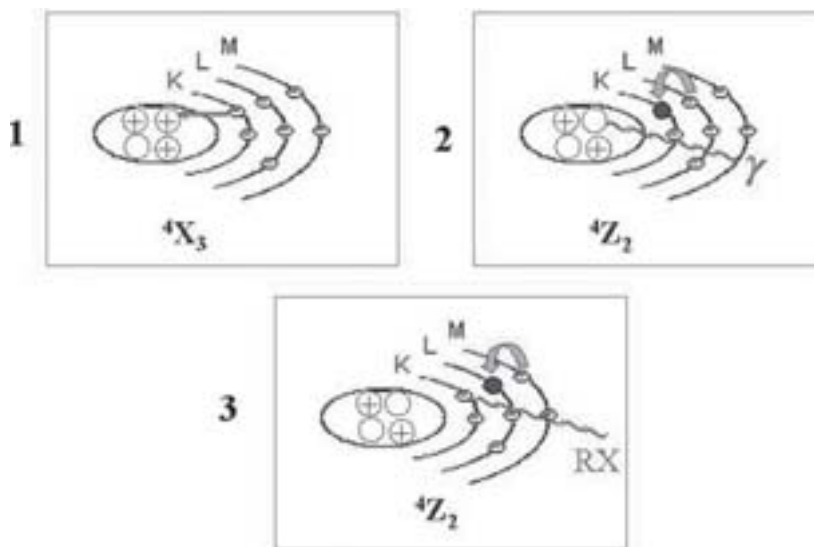


Figura 71. Fenômeno da captura de elétrons ou captura K.

TRANSIÇÃO ISOMÉRICA

Os isômeros são átomos com a mesma massa atômica e o mesmo número atômico, mas com conteúdo de energia diferente. Desta forma, existem dois tipos de isômeros, o estável e o metaestável. O isômero metaestável possui excesso de energia nuclear e perde energia na forma de radiação gama, dando origem ao isômero estável. A letra “m” ao lado da massa atômica do isômero indica que ele está no estado metaestável. Assim, o ^{137m}Ba se refere ao estado metaestável do isômero ^{137}Ba (Fig. 72). A transição isomérica corresponde a um processo de desexcitação do núcleo metaestável e a meia-vida do isômero pode variar entre 10^{-14} s a muitos anos (Knoche, 1991, p.49). Neste tipo de decaimento não ocorre a transmutação nuclear, ou seja, os átomos pai e filho possuem a mesma massa atômica e o mesmo número atômico (Eq. 10).

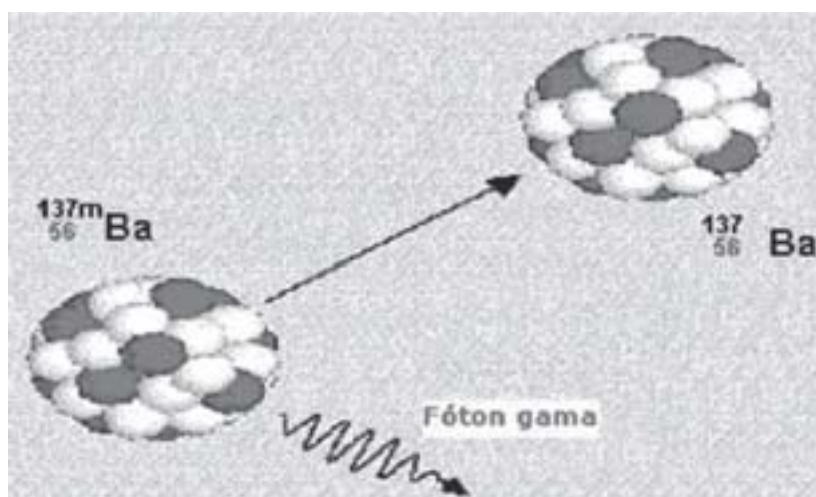


Fig. 72. Transição isomérica do elemento Bário-137.

CAPTURA ISOMÉRICA

Vimos anteriormente que os isômeros metaestáveis emitem radiação γ . A energia da radiação γ pode ser absorvida por elétrons orbitais, que serão ejetados do átomo. O preenchimento das vacâncias por elétrons mais externos (rearranjo orbital) pode resultar em emissão de raio X orbital. Estes elétrons ejetados são também chamados de elétrons Auger. O fenômeno da captura isomérica ocorre, frequentemente, associada à transição isomérica.

RADIAÇÃO GAMA

A radiação gama é uma radiação eletromagnética de comprimento de onda muito pequeno ($< 1 \text{ \AA}$). A radiação gama é simbolizada por γ , tem origem nuclear, diferente dos raios X que tem origem na eletrosfera do átomo. Na emissão gama não há alteração do número de prótons e nêutrons no núcleo do átomo. A emissão gama reduz a energia nuclear, conferindo mais estabilidade ao núcleo. Neste processo geralmente ocorre emissão gama. A radiação gama somente pode ocorrer durante uma transição isomérica ou após um decaimento alfa, beta ou uma captura de elétron orbital.

Por ter um comprimento de onda pequeno, a radiação gama é muito penetrante. Isso acontece por ela não ser partícula, mas sim onda eletromagnética, além do fato de ela não possuir carga elétrica. O poder de ionização desta radiação é inferior ao das partículas alfa e beta e depende da energia da radiação. Esta radiação pode ser blindada usando-se placa de chumbo ou de concreto.

O quadro abaixo resume as principais propriedades físicas das radiações alfa, beta e gama.

Radiação	Alfa (α)	Beta (β)	Gama (γ)
Natureza	corpúscular	corpúscular	eletromagnética
Origem	Nuclear	Nuclear	Nuclear
Carga	+2	-1 (β^-) ou +1 (β^+)	desprovida
Massa	4 (2p e 2n)	Desprezível ($9.109389 \times 10^{-31} \text{ kg}$)	desprovida
Alcance	2 a 10 cm no ar	0 a 10 m no ar	0 a 100 m no ar
Poder de ionização	alta	média	pequeno
Velocidade de propagação	5% da velocidade da luz	95% da velocidade da luz	Igual a velocidade da luz (300.000 Km/s)
Trajectoria	retilínea	tortuosa	retilínea
Emissores	Átomos com $Z > 82$	Átomos com $Z < 84$	Transição isomérica, captura eletrônica, após emissão de α ou β
Blindagem	Folha de papel	Chapa de alumínio	Chapa de chumbo
Energia	3-9 MeV	0-3 MeV	10 KeV a 10 MeV

CONCLUSÃO

Podemos concluir que os átomos radioativos podem emitir espontaneamente radiações na forma de partícula ou na forma de onda eletromagnética. As radiações corpusculares por apresentarem massa são mais ionizantes do que as radiações eletromagnéticas. Por outro lado, as radiações eletromagnéticas são mais penetrantes e, por isso, são mais difíceis de serem blindadas. Desta forma, é de extrema importância o conhecimento sobre as propriedades físicas das radiações ionizantes para poder entender como elas interagem com a matéria dando surgimento aos efeitos biológicos. A partir dos estudos físicos sobre as radiações ionizantes foi possível conhecer melhor como os seus efeitos biológicos se processam no indivíduo irradiado e, desta forma, estabelecer normas mais rigorosas de proteção radiológica. Os elementos radioativos podem induzir câncer e são perigosos quando expostos no meio ambiente sem os devidos cuidados. Eles são a causa das preocupações nos acidentes nucleares e nos artefatos atômicos. No entanto, devemos também nos lembrar que se a radiação for usada de forma adequada, obedecendo aos critérios de radioproteção, muitos podem ser os benefícios por ela produzidos. A radiação aplicada à Medicina auxilia no diagnóstico de muitas doenças e no tratamento e cura do câncer e é uma importante fonte de energia.

RESUMO

O átomo com núcleo instável, em busca de uma maior estabilidade energética, emite de forma espontânea radiação corpuscular (α , β^+ , β^- , n) e/ou radiação eletromagnética (γ). Estas radiações podem, ao interagir com o átomo-alvo, promover efeitos físicos, ionização ou a excitação. Este efeito físico pode evoluir, conseqüentemente, para um efeito biológico. As radiações α , β^+ , β^- e γ são emitidas pelo núcleo do átomo e são consideradas potencialmente ionizantes. A partícula α é a mais ionizante seguida da radiação β e depois da γ . Em contrapartida, comparando as 3 radiações, a partícula α é a que apresenta um menor poder de penetração na matéria. Vimos também que a emissão de radiação corpuscular altera o número atômico do átomo e, conseqüentemente, está acompanhada de uma transmutação nuclear. A emissão de radiação γ , por outro lado, não promove alteração nuclear. Apesar da partícula α ser a mais ionizante ela pode ser facilmente blindada com uma simples folha de papel. As radiações β e γ podem ser blindadas com alumínio e chumbo, respectivamente.





PRÓXIMA AULA

Na próxima aula conheceremos como as radiações abordadas neste capítulo interagem com o átomo-alvo.

REFERÊNCIAS

- CARDOSO, E. M.; et al. **Radioatividade. Apostila Educativa.** Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN.
- CONDE-GARCIA, E. A. C. **Biofísica.** Ed. Savier, 1998.
- HENEINE, I. F. **Biofísica Básica.** Ed. Atheneu, 2006.
- KNOCHE, H. W. **Radioisotopic methods for biological and medical research.** Ed. Oxford University Press, 1991.
- OKUNO, E. **Radiação. Efeitos, riscos e benefícios.** Ed. Harbra, 2007.
- OKUNO, E.; CALDAS, I. L.; CHOW, C. **Física para ciências biológicas e biomédicas.** Ed. Harbra, 1986.
- CARDOSO, S. C.; BARROSO, M. F. **Rápida introdução à física das radiações.** Unidade 3. <http://omnis.if.ufrj.br/~marta/cederj/radiacoes/fr-unidade3.pdf>
- www.butantan.gov.br/reagentes/radioprotecao.ppt
- www.cnen.com.br