

Capítulo 9

Radioactividade

9.1 O átomo

9.1.1 Ordens de grandeza

Devemos por ter uma ideia da ordem de grandeza das dimensões das partículas atómicas e subatómicas e como se relacionam com partículas estudadas em Biologia.

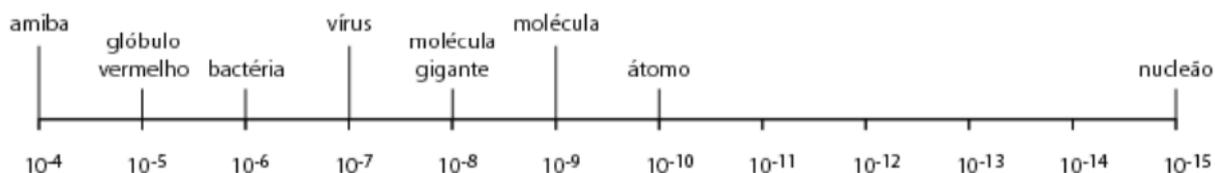


Figura 9.1: metro

A Biologia analisa a matéria até à escala da macromolécula. Com o microscópio óptico podemos observar até uma resolução máxima de uma fracção do micrómetro (10^{-6} m). Ou seja, só muito dificilmente conseguimos identificar um vírus com ele. Veremos que esta limitação resulta do facto de o comprimento de onda da radiação electromagnética visível ser comparável ao tamanho do vírus. O menor objecto resolúvel é aquele cujas dimensões são superiores ao comprimento de onda.

Com um microscópio electrónico o comprimento de onda é da ordem do Å (10^{-10} m) e por isso conseguimos identificar um átomo.

Podemos também olhar para a massa das partículas:

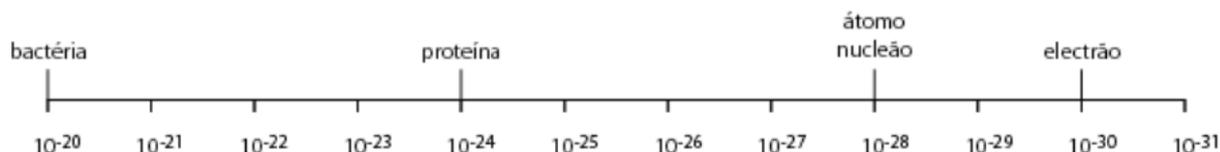


Figura 9.2: kg

É visível que a massa do átomo está quase totalmente concentrada no núcleo.

9.1.2 Constituição do átomo

Átomo é uma palavra de origem grega que significa indivisível. Porém hoje sabemos que é constituído por três tipos de partícula:

	Electrão	$\left\{ \begin{array}{l} m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \\ q = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \\ r = 2.8 \times 10^{-15} \text{ m} \end{array} \right.$
	Protão	$\left\{ \begin{array}{l} m = 1.7 \times 10^{-28} \text{ kg} \\ q = +1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \\ r = 1.4 \times 10^{-15} \text{ m} \end{array} \right.$
	Neutrão	$\left\{ \begin{array}{l} m = 1.7 \times 10^{-28} \text{ kg} \\ q = 0 \text{ C} \\ r = 1.4 \times 10^{-15} \text{ m} \end{array} \right.$

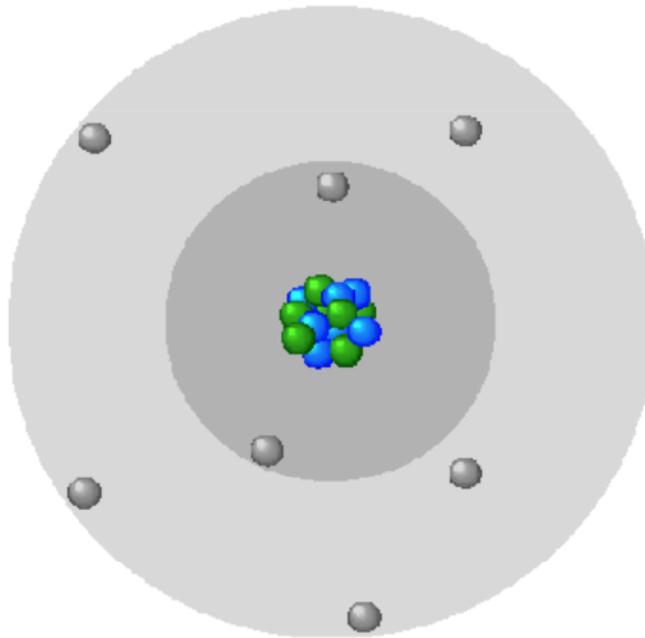


Figura 9.3: Átomo

O electrão é uma partícula que se movimenta em redor do núcleo.

O núcleo é constituído por protões e neutrões.

9.1.3 A carga do átomo

A carga eléctrica do protão tem igual valor absoluto à do electrão mas sinal contrário. A primeira é positiva e a segunda negativa.

O neutrão não tem carga eléctrica.

A carga total do átomo é igual à soma das cargas individuais dos constituintes do mesmo. Por isso será múltipla de $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Em geral o átomo tem igual número de protões e de electrões. Quando tal acontece o átomo é neutro. Caso contrário, tem carga e chama-se um ião.

9.1.4 A massa do átomo

O protão tem uma massa praticamente igual à do neutrão e cerca de 1850 vezes a massa do electrão.

A massa total do átomo é igual a soma das massas individuais dos constituintes do mesmo. Logo constatamos que apesar do núcleo ser muito menor que o átomo (cinco ordens de grandeza) ele contém quase toda a sua massa.

Este facto foi observado pela primeira vez por Rutherford em 1911. Ele bombardeou uma película muito fina de ouro com partículas α (núcleos de átomos de Hélio). Por agora imaginemos que partículas esféricas.

Imagine a seguinte situação: as esferas peneiradas ao passarem pelos furos do peneiro caem no chão. O padrão formado no chão irá reproduzir a distribuição dos furos no peneiro. Dito de outra forma, a regularidade dos obstáculos à passagem das esferas foi projectada no alvo. Se o padrão de obstáculos estivesse distribuído aleatoriamente, a imagem também seria aleatória.

Rutherford observou de facto uma imagem com um padrão regular: o ouro tem uma estrutura organizada. Mais, observou que algumas partículas até voltavam para trás. Este fenómeno era raro mas acontecia.

A interpretação foi de que havia numa área muito pequena (daí ser pouco provável a colisão) com uma grande concentração de massa: o núcleo.

Einstein previu teoricamente a possibilidade de uma massa desaparecer integralmente e transformar-se em energia electromagnética. Para saber o valor dessa energia (E) basta multiplicar a massa (m) pelo quadrado da velocidade da luz (c): $E = mc^2$.

A sua previsão confirmou-se na prática e permitiu contabilizar a massa em termos energéticos. Quando se diz que a massa de um electrão é 511 keV o que está implícito é que se transformarmos toda a massa do electrão em energia, o valor dessa energia será 511 keV.

9.1.5 A energia no átomo

A energia da interacção entre os electrões e o núcleo é pequena e por isso quando expressa em unidades do sistema internacional (Joule) tem um valor muito pequeno (da ordem de 10^{-16} J) é pouco prático.

Assim, resolveu-se procurar uma unidade de energia mais prática cujo valor fosse apresentado no mínimo por um número da ordem das unidades. Definiu-se como eV a energia cinética adquirida por um electrão quando sujeito a uma diferença de potencial de 1 V. Essa energia tem o valor: $E = 1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1 \text{ V} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$.

A energia da interacção entre os electrões e o núcleo é da ordem do keV. É muito menor que a energia contida na massa de um electrão (511 keV) e que a contida na massa de um protão (938 MeV).

As energias de interacção entre os nucleões são da ordem do MeV. Ou seja, a energia nuclear é cerca de três ordens de grandeza superior à energia atómica.

9.2 Estabilidade do núcleo

Sendo constituído por partículas de carga positiva existe uma força repulsiva que torna o núcleo instável. A força de repulsão (F) é tanto maior quanto menor for a distância (d) entre dois protões. A lei de Coulomb diz que a força eléctrica que se faz sentir entre duas cargas eléctricas é directamente proporcional às cargas (Q e Q') e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as mesmas:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{QQ'}{d^2}$$

Então como é que o núcleo mantém-se coeso? Tem que haver uma força atractiva: a interacção forte.

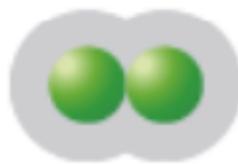


Figura 9.4: Interação forte

Esta faz-se sentir apenas a distâncias comparáveis ao diâmetro de um nucleão (fm). Ou seja, ao contrário da força eléctrica o seu alcance é limitado.

Para que servem os neutrões? Se tiver dois protões e juntá-los, a repulsão eléctrica será superior à interacção forte. Ou seja, a ligação directa entre dois protões é instável:

Temos que afastar os protões para diminuir a repulsão. Para tal utilizamos um intermediário: o neutrão. A distância entre os protões duplica, logo a força de repulsão reduz-se por um factor de um quarto. Assim a interacção forte é superior à repulsão e o núcleo mantém-se coeso.

Se observarmos a natureza em busca de uma relação entre a estabilidade nuclear e o número de protões e neutrões, o resultado é o seguinte (Z é o número de protões e N é o número de neutrões):

- Z e N par - 165
- Z par e N ímpar - 57
- Z ímpar e N par - 53
- Z e N ímpar - 6

Os núcleos estáveis distribuem-se de forma mais frequente por números atómicos e de neutrões pares. Quando ambos não são pares, muito frequentemente um dos dois é par.

Apenas seis núcleos estáveis apresentam Z e N ímpares.

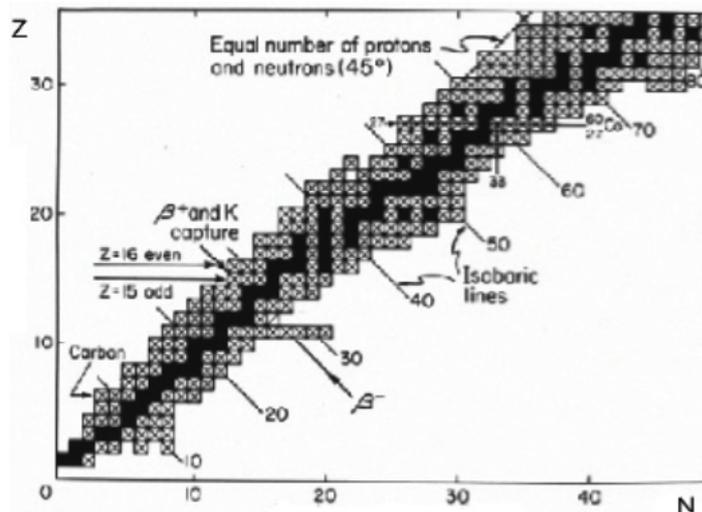


Figura 9.5: Z versus N

No gráfico da figura representa-se o número atómico em função do número de neutrões dos núcleos presentes na natureza. Os estáveis estão representados a cheio e os outros com uma cruz. Podemos observar que os núcleos estáveis são aqueles para os quais $Z = N$. Ou seja, em média existe um neutrão para cada protão. Só assim evitamos que existam dois protões demasiado próximos no núcleo.

Z é denominado número atómico. O número de nucleões é chamado número de massa e é representado pela letra A . Um núcleo é identificado pelo nome e pelos números atómico e de massa. Por exemplo: ${}^{12}_6\text{C}$ indica que o núcleo pertence a um átomo de carbono com número de massa 12 e número atómico 6.

9.2.1 O regresso à estabilidade e a radiação electromagnética

Quando o núcleo é instável ele desintegra-se, ou seja transforma-se de forma a aproximar-se da estabilidade. Esta transformação faz-se emitindo radiação.

Se o núcleo tem apenas um excesso de energia (e não de partículas) ele liberta-a sob a forma de radiação electromagnética. Esta é designada de γ para distinguir da proveniente do átomo. Sabemos então que toda a radiação γ tem origem no núcleo atómico.

Max Planck descobriu que a energia contida numa onda electromagnética estava quantificada. Ou seja ela não podia tomar um valor qualquer; apenas podia tomar valores múltiplos de uma quantidade fixa. Isto sugeria que a onda era constituída por partículas idênticas e cada uma contribuía com uma fracção da energia total. Planck designou esta energia de quanta e percebeu que dependia apenas da frequência (ν) da onda:

$$E = h\nu$$

À partícula constituinte da luz deu-se o nome de *fotão*. Assim, uma onda electromagnética de 414 THz é constituída por fotões de energia:

$$E = h\nu = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js} \times 4.14 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} = 2.7 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ou seja, 1.7 eV. Veremos mais à frente que podemos relacionar a velocidade de propagação de uma onda (c), com o comprimento de onda (λ) e a frequência (ν):

$$c = \lambda\nu$$

A velocidade da luz no vácuo é $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ e o comprimento de onda da radiação do exemplo será então de $6.8 \times 10^{-7} \text{ m} = 6800 \text{ \AA}$.

Logo a luz é visível e vermelha.

Também é possível haver emissão de radiação electromagnética atómica. Esta é designada de radiação *X*.

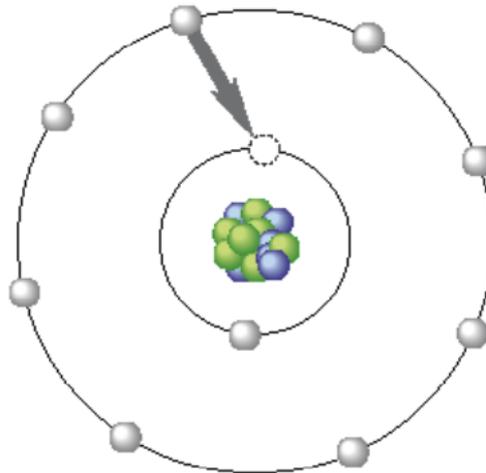


Figura 9.6: Radiação *X* caracterísitca

Vejamos como podem surgir raios *X*. Num átomo ionizado numa camada mais interna os electrões das camadas mais externas têm tendência a preencher a “vaga” existente. Quando tal acontece o electrão passa para um nível de energia mais baixo e por isso precisa libertar o excesso de energia. Ele fá-lo emitindo esse excesso sob a forma de radiação electromagnética.

Como sabemos, os níveis de energia dos electrões atómicos são característicos de cada átomo. Isso permite-nos por exemplo saber que há grandes quantidades de hidrogénio no Sol apesar de nunca alguém ter ido lá retirar uma amostra.

Sendo assim, a energia da radiação electromagnética emitida é única para cada tipo de átomo e é por isso denominada de *radiação X característica*. Além disso, como as energias de ligação dos electrões ao átomo são tipicamente da ordem do keV (para os electrões mais internos) a radiação característica é também da ordem dos keV.

Observou-se experimentalmente que quando um átomo é bombardeado com electrões, alguns colidem com os electrões atómicos e ocorrem ionizações. Essas ionizações por sua vez levam à reorganização dos electrões

atómicos e à consequente emissão de raios X característicos. Porém alguns dos electrões colidem com o núcleo e são desviados.

Quando uma partícula carregada sofre uma aceleração ela emite radiação electromagnética. A energia assim emitida pode ser qualquer fracção da energia cinética do electrão incidente. Esta radiação X chama-se *Bremsstrahlung* ou radiação de travagem.

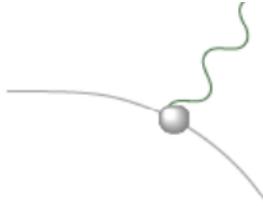


Figura 9.7: Radiação de travagem

Por analogia, podemos pensar no que acontece a um carro quando faz uma curva rápida. Ele emite radiação acústica (os pneus chiam).

O espectro da radiação total tem o seguinte aspecto:

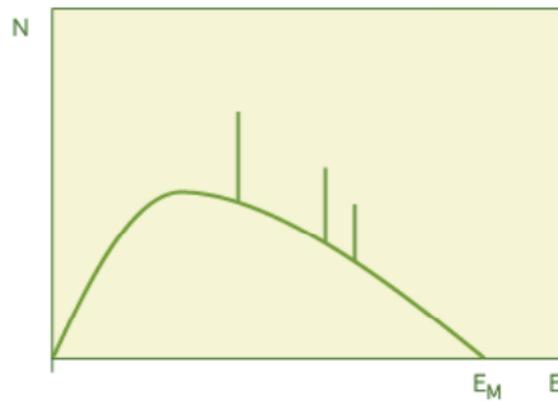


Figura 9.8: Espectro de radiação electromagnética atómica

Vemos uma sobreposição de dois espectros: um contínuo (*Bremsstrahlung*) e outro discreto (*Característica*).

Cada pico corresponde a radiação emitida quando há transição de electrões entre dois níveis de energia do átomo.

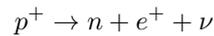
A energia E_M obtém-se quando toda a energia cinética do electrão é transformada em radiação electromagnética. A radiação característica tem energias da ordem do keV mas a de travagem está apenas limitada ao valor da energia cinética dos electrões incidentes que a geram. Por isso pode tomar valores da ordem dos MeV ou até superiores.

A radiação γ distingue-se da radiação X unicamente pela sua origem, uma vez que toma valores de energia da ordem do MeV. Isto deve-se ao facto das energias de interacção no núcleo serem desta ordem.

9.2.2 O regresso à estabilidade e a radiação corpuscular

Se um núcleo é instável por ter excesso de protões então a melhor maneira de voltar à estabilidade é ver-se livre desse excesso de protões. Uma forma comum de resolver este problema é transformar um protão num neutrão.

Então o que acontece à carga do protão quando transforma-se no neutrão? Ela é libertada sob a forma de uma terceira partícula: o *positrão*. Dito de outra forma, o Princípio da Conservação de Carga Eléctrica exige a existência de uma terceira partícula com a carga do protão. Logo a reacção processa-se da seguinte forma:



Na prática observa-se que não só surge o positrão como uma quarta partícula chamada neutrino (ν). Do ponto de vista das aplicações à saúde, esta partícula não tem grande interesse uma vez que a sua massa é tão pequena que praticamente não interage com a matéria.

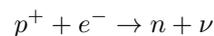
A radiação corpuscular que obtemos a partir de uma amostra de núcleos deste exemplo será então um feixe de positrões. Este feixe tem a designação de radiação β^+ .

O positrão é idêntico ao electrão em tudo excepto num facto: as suas cargas simétricas. Diz-se que formam um par *partícula-antipartícula*. Quando uma partícula encontra a sua antipartícula, as duas aniquilam-se e transformam-se em radiação electromagnética. Ou seja, no início temos duas partículas com massa e de repente toda a massa desaparece e transforma-se em energia electromagnética (luz).

Então porque é que existem electrões? Porque (pelo menos nesta parte do Universo) os positrões existem em menor quantidade que os electrões.

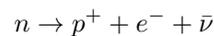
Quando um positrão colide com um electrão, os dois aniquilam-se. A energia contida nas suas massas é convertida em dois fotões de igual energia (511 keV cada). Os dois saem ao longo da mesma direcção mas em sentido contrário. Este fenómeno é utilizado numa técnica de radiodiagnóstico denominada Tomografia de Emissão de Positrões (TEP) que estudaremos na secção 9.3.4.4.

Voltando ao caso do núcleo instável com excesso de protões, existe outro processo que compete com a radiação β^+ na “procura” da estabilidade. O núcleo captura um dos electrões mais internos do átomo, e um protão transforma-se num neutrão:



Com excepção do neutrino este processo não envolve a emissão de corpúsculos e chama-se *Captura Electrónica*.

Consideremos agora a situação inversa: o núcleo tem falta de protões. Logo neste caso pretende transformar neutrões em protões:



As partículas emitidas são um electrão e um antineutrino. Mais uma vez o antineutrino tem uma massa quase nula logo o seu contributo energético ao interagir com tecido vivo é quase nulo. Por isso a radiação relevante emitida a partir de uma amostra será um feixe de electrões, ou seja, radiação β^- .

Finalmente, um núcleo de grande massa foge à regra inicial empírica de haver igual número de protões e neutrões (ver figura 9.5). Na realidade, um tal núcleo só é estável quando tem um ligeiro excesso de neutrões em relação aos protões. Se um núcleo de grande massa tem igual número de protões e neutrões, ele é instável, mas se reduzir a massa sem alterar a razão entre os números de protões e de neutrões, eventualmente ele torna-se estável (desço ao longo da linha $Z = N$).

Existe um processo que ocorre predominantemente com núcleos de elevada massa e que consiste na emissão de um conjunto de dois protões e dois neutrões (núcleo de um átomo de hélio).

A emissão de um feixe destas partículas chama-se radiação α .

9.2.3 Actividade

Uma amostra com N núcleos de natureza instável diz-se ser um material radioactivo. O número destes átomos com núcleo instável irá diminuir ao longo do tempo. Esta diminuição evolui no tempo de forma exponencial. Se o número inicial for N_0 então passado um certo tempo t , ele diminui de acordo com a seguinte equação:

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (9.1)$$

em que τ é o tempo de vida médio da amostra radioactiva. No instante $t = \tau$, o número de núcleos radioactivos é $\frac{1}{e}$ do valor inicial. Logo o tempo de vida médio é o tempo que a amostra demora a ver o número inicial de núcleos radioactivos reduzido a 37% do valor inicial.

Na prática é difícil determinar o número de núcleos radioactivos que uma amostra contém. Por isso esta expressão parece à primeira vista pouco útil.

O que podemos medir facilmente é o número de desintegrações por unidade de tempo. Ou seja, se para cada desintegração nuclear há emissão de uma partícula então ao detectar o número total de partículas emitidas num intervalo de tempo unitário esse valor coincidirá com o número de desintegrações por unidade de tempo.

A variação do número de núcleos radioactivos é igual ao número final menos o inicial:

$$\Delta N = N_F - N_I$$

O número de desintegrações é o simétrico desta quantidade:

$$N_I - N_F$$

Ao número de desintegrações por unidade de tempo chama-se actividade (A):

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

Logo:

$$A = -\frac{d}{dt} \left(N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \right) = \frac{1}{\tau} N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{N}{\tau}$$

Como era de esperar a actividade é tanto maior quanto maior for o número de núcleos radioactivos presentes na amostra e quanto menor for o tempo de vida médio.

Ao inverso do tempo de vida médio chama-se constante de desintegração (λ):

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

A sua unidade do Sistema Internacional (SI) é por isso o s^{-1} .

Quanto á actividade, a sua unidade SI é 1 desintegração por segundo. Em homenagem a quem descobriu o fenómeno da radioactividade natural - Becquerel (Bq) - um Bq é uma desintegração por segundo.

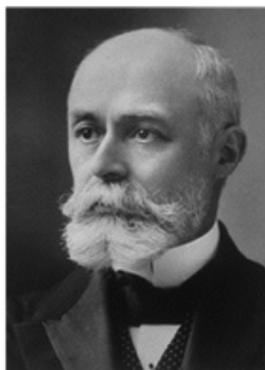


Figura 9.9: Becquerel

Um grama de Rádio (Ra) tem uma actividade natural de 3.7×10^{10} Bq. Este facto é também a base para uma unidade de actividade que se chama de Curie (Ci) em homenagem ao trabalho realizado pelos Curie com este elemento.

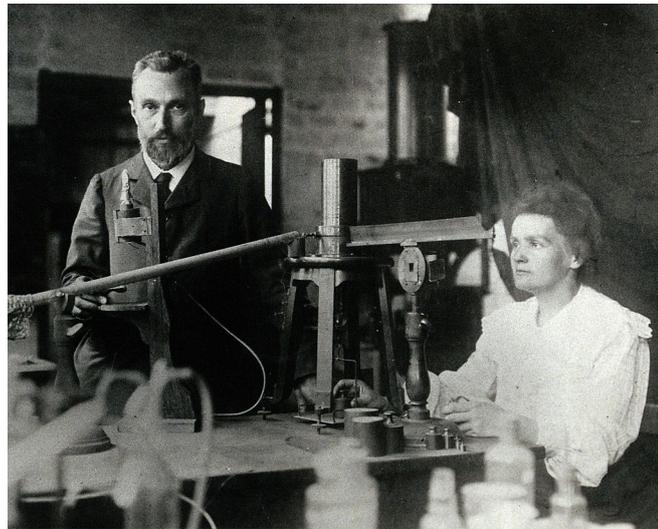


Figura 9.10: Os Curie

Logo: $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$.

Se dividirmos por τ a expressão do decaimento exponencial de N (equação 9.1) obtemos:

$$\frac{N}{\tau} = \frac{N_0}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Logo:

$$A = A_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

em que A_0 é a actividade inicial da amostra.

O tempo de vida médio não é a única forma de caracterizar a variação temporal da actividade. Existe outra grandeza que também é muito utilizada que é o tempo de semi-desintegração ($T_{1/2}$). Por definição é o tempo que uma fonte demora a ver a sua actividade reduzida a metade do valor inicial. Por isso:

$$\frac{A_0}{2} = A_0 e^{-\frac{T_{1/2}}{\tau}}$$

e podemos relacionar $T_{1/2}$ com τ :

$$T_{1/2} = \tau \ln 2$$

9.2.4 Datação

Podemos determinar o tempo que decorreu desde a morte de um espécime biológico a partir da leitura da sua actividade radioactiva. Esse processo chama-se datação. Podemos utilizar por exemplo o isótopo do carbono ^{14}C .

Durante a vida de um ser vivo ele respira. Ou seja, dão-se trocas gasosas constantes e a fracção (P) de ^{14}C em relação a ^{12}C no ar reproduz-se no ser vivo (é a mesma). A datação radioactiva assenta no pressuposto de que esta fracção P no ar manteve-se constante até o momento da morte do ser vivo:

$$P = \frac{N_{\text{C-14}}}{N_{\text{C-12}}} = \text{cte}$$

A partir do instante da morte deixam de ocorrer trocas gasosas e a fracção de ^{14}C no espécime diminui exponencialmente porque o seu número está também a decrescer exponencialmente.

Sabendo a constituição do tecido (e.g. celulose) a datar podemos fazer uma estimativa do número de átomos de carbono presentes na amostra ($N_{\text{C-12}}$). Logo a partir da fracção P (medida experimentalmente

hoje) podemos determinar o número de átomos de ^{14}C presentes na amostra inicial:

$$(N_{C-14})_0 = PN_{C-12}$$

Se multiplicar a actividade actual da amostra pelo tempo de vida médio (5370 a) obtenho o número de átomos de $C - 14$ presentes actualmente na amostra:

$$N_{C-14} = \tau A$$

Logo podemos determinar t da seguinte forma:

$$N_{C-14} = (N_{C-14})_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Ou seja:

$$t = -\tau \ln \left[\frac{N_{C-14}}{(N_{C-14})_0} \right] = -\tau \ln \left[\frac{\tau A}{PN_{C-12}} \right]$$

9.2.5 Radiação Ionizante de fundo

Todos os dias estamos expostos a radiação proveniente de fontes variadas. No gráfico seguinte apresenta-se uma análise comparativa do contributo das maiores fontes de radiação anual.

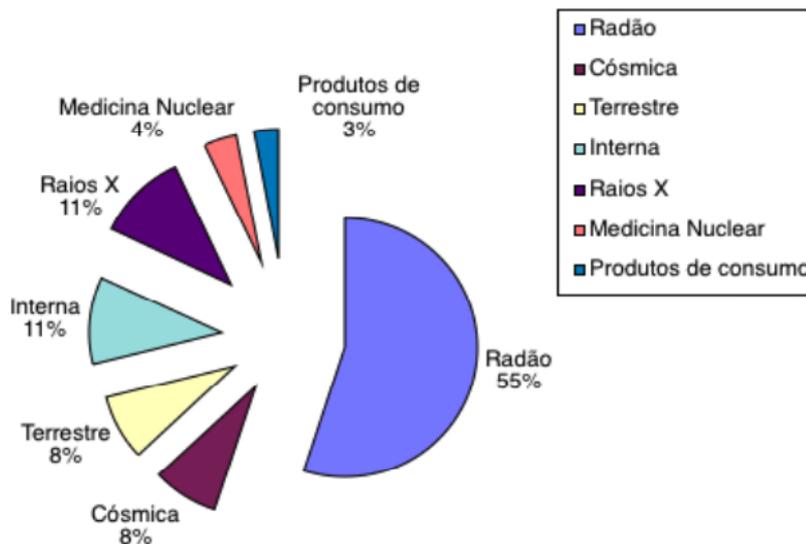


Figura 9.11: Fontes de radiação de fundo

Podemos começar por separar em dois grupos principais: radiação natural e artificial.

A maior fonte de radiação natural é o Radão (Rn). O radão encontra-se na natureza sob a forma de um gás e é uma fonte de radiação α . A actividade típica do ar devido à presença deste gás é da ordem de 10^{-2} Bq por cada litro de ar mas aumenta ligeiramente nas zonas com a presença de grandes massas de granito. A radiação α que recebemos desta forma é responsável por 55% da dose efectiva anual.

A segunda maior fonte de radiação natural (11%) é interna. Ou seja, é produzida por fontes presentes no interior do nosso organismo. Essas fontes surgem por trocas gasosas na respiração ou pela alimentação.

Quando respiramos, o radão entra pelos pulmões para a corrente sanguínea e tem tendência a acumular-se nos ossos. Ele instala-se aí e sofre uma cadeia de desintegrações sucessivas (β^- , α , γ) até formar um núcleo estável de chumbo (^{206}Pb) com um tempo de vida médio total da ordem das dezenas de anos.

O potássio 40 é um elemento que ocorre na natureza com uma abundância cerca de 0.01% e é radioactivo. Se pensarmos na quantidade de potássio presente no organismo humano (cerca de 100 g) podemos inferir que

uma massa de 10 mg de ^{40}K dá um contributo significativo para a dose de radiação interna.

Logo a seguir vem o contributo da radiação terrestre (8%) vindo dos elementos radioactivos presentes na crosta terrestre. Por exemplo, o potássio presente no cimento e nas formações rochosas fá-las radioactivas.

A radiação cósmica (8%) é proveniente do espaço. O seu contributo seria maior se não houvesse uma atenuação da radiação pela atmosfera com a ajuda do campo magnético terrestre. Veremos mais tarde que a radiação com carga eléctrica e em movimento é desviada quando sob a acção de um campo magnético. No caso da terra esse desvio é feito em direcção aos pólos e leva ao aparecimento das famosas auroras boreais.

De facto as pessoas que vivem a maiores altitudes estão sujeitas a uma maior exposição a radiação cósmica por estarem protegidas por uma menor camada de atmosfera.

O pessoal de bordo das companhias aéreas tem dosímetros que permitem avaliar a dose de radiação recebida e tal como um radiologista, devem ser impedidos temporariamente de exercer o seu trabalho quando atingem o valor máximo de exposição prevista na lei. Daí haver um limite máximo de horas de voo.

Acabada a radiação natural (82% da total) podemos agora ver de onde vem a radiação ionizante produzida por intervenção humana.

A maior contributo (11%) vem dos raios X utilizados para diagnóstico na saúde: radiografias e Tomografias Axiais Computorizadas (TAC). O valor inclui os dois tipos de imagem. Como as TAC implicam uma exposição muito maior que uma radiografia e muitas pessoas nunca foram submetidas a uma TAC, para essas pessoas esta percentagem será menor.

Outra variante de diagnóstico que implica também o uso de radiação é a medicina nuclear. Esta engloba varios tipos: PET, SPECT, etc. Basicamente, as imagens são obtidas fazendo o paciente ingerir ou ser injectado com material radioactivo com um tempo de vida médio de várias horas. Logo esta percentagem será zero para muita gente.

Finalmente temos menos que 3% para produtos de consumo e menos que 1% para outros.

Os produtos de consumo englobam:

- como se não fosse suficiente o fumo do tabaco, as folhas do tabaco são emissoras de partículas α .
- os detectores de incêndio têm emissores de partículas α .

Quanto à categoria "outros", esta engloba:

- irradiação ocupacional (radiologistas, pilotos de avião, etc.).
- resíduos de explosões de testes nucleares presentes na atmosfera.
- centrais nucleares.

9.2.6 A radiação natural e efeitos nos seres vivos

A dose equivalente efectiva total resultante do somatório dos contributos das fontes mencionadas anteriormente é da ordem dos 3.6 mSv. Neste momento deve estar a perguntar-se: com esta radiação toda como é que sobrevivemos? Esta pergunta parte de um pressuposto que não é necessariamente verdadeiro - a radiação é má para um ser vivo.

Durante o tempo da guerra fria nos EUA o público tomou conhecimento da existência do radão na atmosfera. As casas americanas eram construídas com uma cave em cimento e rocha e os andares seguintes em madeira. Alguém previu que a presença de granito na cave levaria a uma acumulação excessiva de radão.

De facto, quando mediram os níveis de radiação confirmaram esta previsão. Pensou-se logo que seria uma oportunidade única de fazer um estudo epidemiológico. Tentou-se relacionar a exposição com a incidência de cancro e o resultado foi completamente inesperado: a população que tinha sofrido menor exposição a radiação tinha maior incidência de cancro!

Este resultado sugeriu que existe não só um nível máximo de radiação mas um mínimo. Se tivermos em conta que evoluímos neste ambiente radioactivo é natural estarmos adaptados. Podemos ver a radiação

para os níveis de radiação natural como uma forma de seleção de células. As células danificadas têm maior probabilidade de morte quando irradiadas. Este efeito é conhecido como *Hormese*.

9.3 Interacção da radiação com a matéria

A radiação ao interagir com a matéria perde parte ou toda a sua energia. A energia depositada na matéria (E) sob a forma de radiação por unidade de massa (m) chama-se Dose (D):

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

A unidade de dose do sistema internacional (SI) é o J kg^{-1} . Esta unidade é conhecida como Gray ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}$).

9.3.1 A radiação corpuscular

Na secção anterior vimos que existem vários tipos de radiação corpuscular. Veremos agora o que acontece a esses corpúsculos quando colidem com a estrutura atómica da matéria.

Começamos pelos electrões. Consideremos um feixe de electrões que se desloca a uma certa velocidade segundo trajectórias rectilíneas e paralelas (ver figura 9.12). Podemos considerar que têm energias da ordem do MeV.

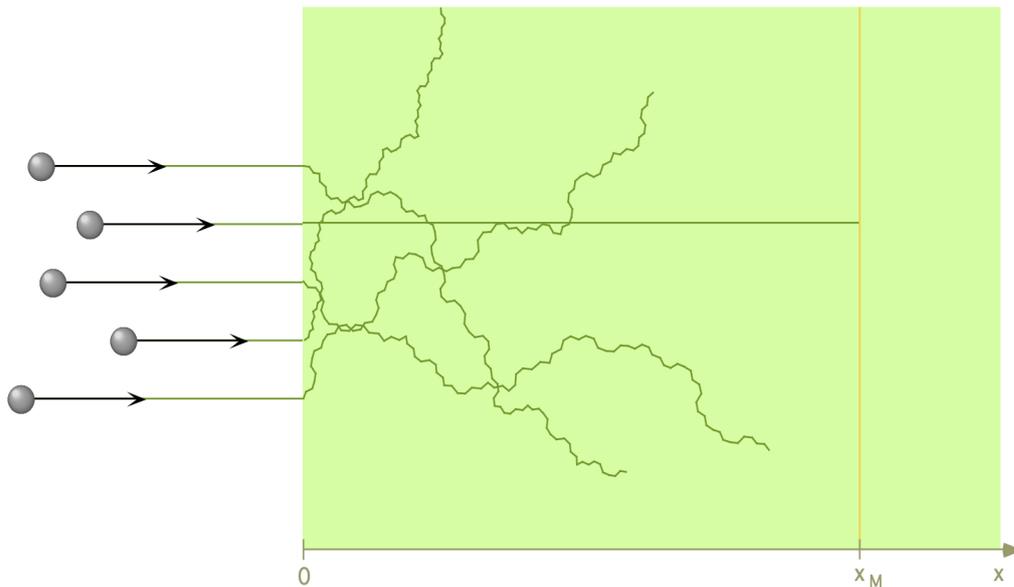


Figura 9.12: Colisão de electrões com matéria

Cada electrão “vê” um padrão de obstáculos em que predomina o vazio. Basta pensarmos que o átomo tem um diâmetro da ordem do \AA e o núcleo tem um diâmetro cerca de 5 ordens de grandeza menor.

No entanto, como o electrão tem carga eléctrica interage muito intensamente com a estrutura da matéria. A interacção pode acontecer de duas formas:

- o electrão colide elasticamente com os átomos (como se fosse uma bola de bilhar). Como a massa do electrão é pequena, a sua trajectória é muito sinuosa. Em cada colisão perde um pouco da sua energia cinética até que eventualmente acaba por parar.
- o electrão interage com um núcleo, é desviado muito rapidamente e por isso emite raios X (bremsstrahlung - radiação de travagem).