

Radioactividade: para o melhor e o pior*

Ana Jesus, Catarina Pais

Maria Silvana Nunes, Nuno Silva

Em 1896, acidentalmente, Becquerel descobriu que sais de urânio emitiam radiação invisível capaz de escurecer uma placa fotográfica. Após várias experiências foi possível concluir que esta radiação, até então desconhecida, surgia espontaneamente sem agentes exteriores.

Este processo de emissão espontânea de radiação por parte do urânio, passou a ser denominado por radioactividade, e mais tarde foi identificada como resultante do declínio ou decaimento que os núcleos de urânio sofrem.

Marie e Pierre Curie identificaram mais algumas espécies radioactivas como o Polónio e o Rádio.

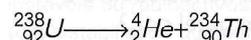
Todos os elementos que constituem a sétima fila do quadro periódico têm núcleos radioactivos. Na natureza apenas se encontram cinco: rádio (Ra), actínio (Ac), tório (Th), protactínio (Pa) e urânio (U). Mas muitos mais são sintetizados como o frâncio (Fr), o plutónio (Pu), o cúrio (Cm), o berquélio (Bk), etc.

O que é o decaimento nuclear

A maior parte dos átomos são estáveis. Por exemplo, um átomo de carbono-12 permanece um átomo de carbono-12 para sempre. Mas alguns átomos têm excesso de energia interna o que os conduz a um processo de transformação em novos átomos mais estáveis. Os átomos, com excesso de energia interna, dizem-se instáveis ou radioactivos. E o processo de transformação tem o nome de decaimento nuclear ou declínio radioactivo.

Vejamos o que se passa, por exemplo, com o urânio. Qualquer que seja o estado físico e químico em que os

átomos de urânio se encontram, em cada momento alguns deles decaem para se tornarem átomos de tório, segundo a reacção espontânea:



Há três processos comuns segundo os quais os núcleos dos átomos se podem tornar estáveis: 1) perda de partículas alfa; 2) perda de partículas beta; 3) ou emissão de radiações gama. As radiações alfa são, como no caso do Urânio, núcleos de átomos de hélio, as radiações beta são constituídas por electrões ou positrões e as radiações gama são ondas electromagnéticas de alta frequência.

Os elementos radioactivos estão agrupados em quatro famílias: do urânio - rádio, do tório, do actínio e do neptúnio, podendo qualquer elemento radioactivo encontrar-se através de uma série de transformações que se iniciam pelo elemento que dá nome à série.

Meia vida

A radioactividade de um elemento é não só caracterizada pela natureza e energia das suas radiações, mas também pela velocidade do processo de decaimento. Para dar a ideia da velocidade especifica-se o tempo necessário para que o número de átomos inicialmente presentes se reduza a metade. A este período de tempo é que se dá o nome de meia vida, semi-vida ou semi-período. Por exemplo, sabemos que, depois de $4,5 \times 10^9$ anos, metade dos átomos de qualquer amostra de ${}_{92}^{238}\text{U}$ decairão para ${}_{90}^{234}\text{Th}$.

Considera-se que um núcleo é estável

* Este texto é um dos trabalhos dos alunos da Univ. do Algarve, que Leonor Moreira refere no artigo *Algumas reflexões sobre a democracia a propósito de currículos e vice-versa* publicado na *Educação e Matemática* n.º 55.

Um artigo com o título *O cemitério Nuclear*, publicado na revista *Visão* de 13 de Novembro de 1997 e um outro, retirado da *Net*, recordando o desastre de Chernobyl, foram alvo de discussão nas nossas aulas durante uma semana e despertaram, em nós, o interesse pelo estudo da radioactividade, de que resultou este trabalho.

quando a sua meia vida é muito maior que a idade da Terra que se estima em cerca de 5×10^9 anos. Núcleos muito instáveis caracterizam-se por semi-períodos muito curtos, por vezes apenas uma fracção de segundo.

A matemática da radioactividade

Consideremos uma amostra A de um elemento radioactivo com um grande número de átomos idênticos. A probabilidade de que qualquer átomo se desintegre na unidade de tempo designa-se por *constante de desintegração* ou *constante radioactiva* e representa-se em geral por λ .

Podemos escrever que, para cada espécie radioactiva, $\lambda = -\frac{\Delta N / \Delta t}{N}$

é constante, seja qual for a situação, no tempo, do intervalo Δt , seja portanto qual for o passado da amostra considerada (o sinal menos justifica-se pelo facto de o número de átomos do elemento A estar a diminuir).

Dizendo de outro modo, a percentagem de átomos que se desintegra, num certo intervalo de tempo, é sempre a mesma, quer esse intervalo de tempo se siga imediatamente a um dado instante t , ou se situe 10000 anos depois! Quer dizer, a probabilidade de um átomo se desintegrar é igual para um átomo que se tenha acabado de formar e para outro com alguns milhares de anos de existência.

É semelhante ao que se passa com dois jogadores da lotaria, X e Y, que tenham comprado, cada um, uma cautela para esta semana. A probabilidade de terem prémio, esta semana, é idêntica para ambos, apesar de X ter comprado lotaria pela primeira vez e Y ser um jogador inveterado.

Mas, atenção, a lei do decaimento radioactivo apenas descreve o comportamento de amostras com um grande número de átomos. Amostras com um número reduzido de átomos podem apresentar um comportamento que difira muito do previsto pela lei.

É o mesmo que se passa quando lançamos, sucessivamente, uma moeda "honestá" ao ar. A afirmação de que saem 50% de caras e 50% de coroas só é verdadeira se forem numerosos os lançamentos efectua-

dos.

Se for N o número de átomos da amostra A, no instante t , a velocidade de desintegração, ou melhor, a taxa de variação instantânea do número de átomos de A é proporcional ao número de átomos presentes:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

Separando as variáveis tem-se:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

Integrando ambos os membros da equação, vem:

$$\int \frac{dN}{N} = -\int \lambda dt \Leftrightarrow \ln N = \lambda t + C \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow N = e^{-\lambda t + C} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow N = e^{-\lambda t} \cdot e^C \Leftrightarrow N = C e^{-\lambda t}$$

Se $t=0$, $N(0)=C$

Logo C coincide com o número de átomos no instante inicial que designaremos por N_0 .

Assim obtemos a seguinte expressão:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \text{ em que:}$$

N_0 é a quantidade inicial de substância radioactiva, N é a quantidade remanescente ao fim de um tempo t , t é o tempo decorrido e λ é uma constante positiva que depende da velocidade de decaimento.

A meia vida, como já vimos, dá-nos uma ideia da velocidade do decaimento radioactivo, e é o tempo necessário para que metade dos átomos decaiam, isto é, para que $N = N_0/2$. Então a meia vida (H) é determinada através de:

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

$$\Leftrightarrow \ln(1/2) = -\lambda H \Leftrightarrow H = -\frac{\ln(1/2)}{\lambda} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \lambda = -\frac{\ln(1/2)}{H} \cong \frac{0,7}{H}$$

$$\text{Logo, } N = N_0 e^{-\frac{0,7}{H} t}$$

Tomemos como exemplo o cobalto radioactivo que tem uma meia vida de 5,27 anos. Temos, então:

$$N = N_0 e^{-\frac{0,7}{5,27} t} \Leftrightarrow N = N_0 e^{-0,13t}$$

Um dos problemas da radioactividade é que esta nunca se extingue, apesar de, a partir de determinados níveis, a sua existência não ser prejudicial à saúde. De facto, substituindo, na função, N por zero, iremos obter o tempo ao fim da qual toda a substância radioactiva está transformada. Ora, em termos teóricos, N só pode ser zero se N_0 for zero já que a exponencial nunca se anula.

O pior da radioactividade

Quando se fala dos aspectos negativos da radioactividade, a primeira coisa de que se fala é da má aplicação da energia nuclear, sendo disso exemplo as armas nucleares que podem destruir todo o planeta, ou, como foi o caso das bombas lançadas em Hiroxima e Nagasáqui, no termo da 2ª grande guerra (6 e 9 de Agosto de 1945), que mataram milhares de pessoas na altura em que foram lançadas, mas cujos efeitos perduraram e perdurarão por muito tempo, sendo causa de muitas doenças e problemas físicos na população sobrevivente mas também nos seus descendentes.

Outro problema igualmente importante é a questão dos acidentes nas centrais nucleares como o de Chernobyl. Para além das vidas que se perdem no momento, se calhar o pior ainda são os efeitos a longo prazo que se traduzem em prejuízos ambientais e problemas de saúde que não se restringem aos locais próximos das centrais, uma vez que os ventos podem arrastar as substâncias radioactivas e provocar a contaminação de áreas muito vastas.

Mas mesmo que não se dêem nenhuma destas tragédias, é sabido que as centrais nucleares têm, mesmo quando tudo funciona bem, dois tipos de problemas: os resíduos tóxicos que são enterrados ou lançados em contentores nos oceanos e o aquecimento da água de rios que é utilizada para arrefecer os reactores. No primeiro caso, levanta-se a questão de por quanto tempo resistem os contentores e impedem a saída, para o solo ou para as águas do oceano, dos materiais radioactivos que poderão ainda estar instáveis e provocar contaminação. No segundo caso, temos uma contribuição impor-

tante para o aquecimento terrestre e o efeito de estufa que outros colegas se encarregarão de estudar.

Para avaliarmos bem a duração dos efeitos negativos, imaginemos que em determinado local ocorreu um acidente nuclear envolvendo cobalto radioactivo cuja semi-vida é, aproximadamente, 5,27 anos. Suponhamos que os níveis de radioactividade registados foram 100 vezes maiores do que o nível aceitável pela Organização Mundial de Saúde. Passado quanto tempo após a explosão do reactor nuclear poderá voltar a população às suas casas, sem risco para a sua saúde?

Designando α (alfa) como o nível aceitável pela OMS, podemos obter a seguinte tabela:

Nível de radioactividade	Tempo decorrido
100 α	0
50 α	5,27
25 α	10,54
12,5 α	15,81
6,25 α	21,08
3,125 α	26,35
1,5625 α	31,62
0,78125 α	36,89

Vemos, a partir de uma matemática elementar, que são precisos cerca de 37 anos para que as populações possam voltar às suas casas. Mas podíamos utilizar a matemática das progressões.

O nível de radioactividade, ao fim de 5,27 anos é metade do inicial, depois de 10,54 dias é reduzido para 1/4 e por aí adiante. A coluna da esquerda é, então, uma progressão geométrica de razão 1/2 em que:

$$U_1 = 100\alpha$$

$$U_2 = 100\alpha \times 1/2 = 50\alpha$$

$$U_3 = 100\alpha \times 1/2 \times 1/2 = 25\alpha$$

$$\dots\dots\dots$$

$$U_n = 100\alpha(1/2)^{n-1}$$

Para sabermos o termo em que o nível de radioactividade é aceitável pela OMS (α), teríamos:

$$\alpha = 100\alpha \cdot (1/2)^{n-1}$$

$$1 = 100 \cdot (1/2)^{n-1}$$

$$(1/2)^{n-1} = 0,01$$

$$n-1 = \log_{1/2}(0,01)$$

$$n-1 = \frac{\ln(0,01)}{\ln(1/2)}$$

$$n-1 \cong 6,64$$

ou seja, $n=8$.

A coluna da direita constitui uma progressão aritmética de razão 5,27. Portanto,

$$U_1 = 0$$

$$U_2 = 0 + 5,27$$

$$U_3 = 0 + 5,27 + 5,27$$

$$\dots\dots\dots$$

$$U_n = 0 + (n-1) \cdot (5,27)$$

Para $n = 8$:

$$U_8 = 0 + (8 - 1) \cdot (5,27)$$

$$= 0 + 7 \cdot (5,27) \cong 37 \text{ anos}$$

O melhor da radioactividade

Mas a radioactividade tem também aspectos positivos. Referiremos alguns.

Um dos usos mais generalizados da radioactividade é a produção de energia eléctrica, que como já dissemos, tem também aspectos negativos.

Na medicina, a radioterapia é um dos métodos utilizados para o controlo de doenças cancerosas, embora esteja por reconhecer a sua eficácia.

Já as radiografias são meios de diagnóstico imprescindíveis. Os raios gama são também utilizados para esterilizar seringas, ligaduras e outros equipamentos médicos.

Os isótopos radioactivos são muito utilizados na agricultura, no diagnóstico médico, na indústria e na investigação.

Por exemplo, o nitrogénio-15 e o fósforo-32 são utilizados para marcar os fertilizantes e determinar que parte daqueles é que a planta aproveita e que parte desperdiça, auxiliando assim a investigação na composição correcta dos fertilizantes.

Os isótopos¹ radioactivos são, ainda, utilizados para impedirem a germinação da raiz dos cereais depois de colhidos, para matar parasitas, e para controlar o amadurecimento de frutas e vegetais armazenados.

Os marcadores radioactivos ajudam a fazer diagnósticos, permitindo seguir os processos dinâmicos que ocorrem em alguns órgãos – como exemplo, citamos as tomografias.

Um outro aspecto interessante é a sua utilização na determinação da idade de rochas, fósseis e outros materiais de interesse para geólogos, antropólogos e arqueólogos. Terá sido assim que se dataram as figuras rupestres do Vale do Côa?

Notas

¹ Os isótopos são diferentes formas de um átomo do mesmo elemento químico. Têm o mesmo número atómico (número de prótons), mas número de massa (número de prótons e neutrões) diferente. Por exemplo o oxigénio, de número atómico 8, tem três isótopos: o oxigénio 16, o oxigénio 17 e o oxigénio 18. Alguns isótopos são estáveis e outros são instáveis ou radioactivos. E é precisamente a instabilidade que os torna úteis.

Bibliografia

Berresford, G. (1996) Applied Calculus. Boston: Houghton Mifflin Company.
 Pimentel, G. (1976) Química. Uma ciência experimental. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
 Uranium Information Centre (1998) Radiation and Life. <http://www.uic.com.au/ral.htm>.
 Uranium Information Centre (1997) Why uranium. <http://www.uci.com.au/whyu.htm>
 Uranium Information Centre (1997) The Peaceful Atom. <http://www.uci.com.au/peac.htm>

Ana Jesus, Catarina Pais, Maria Silvana Nunes, Nuno Silva

Nota da professora

Como os próprios alunos referem, no início do trabalho, uma notícia da Visão e um artigo extraído da Net sobre desastres em centrais de energia nuclear foram alvo de discussão nas aulas de Matemática. O meu principal propósito, ao trazer para a aula esta discussão, era contribuir para uma tomada de consciência e uma reflexão sobre o que determina a opção nuclear e as suas consequências. Era importante perceber que os perigos de uma tal escolha não são apenas os de maior visibilidade, como os resultantes da utilização das armas nucleares, mas que outros riscos, associados até à actividade médica, permanecem latentes durante muito, muito tempo. E para perceber isso nada melhor do que estudar o decaimento radioactivo e, consequentemente, aprofundar o conhecimento da função exponencial. Entre os vários trabalhos produzidos pelos alunos, selecciono este por ser um dos mais completos. Tal como nos anteriores trabalhos publicados, este, resultando de um tema trabalhado na aula, implicou trabalho extra e alguma pesquisa bibliográfica."

Leonor Moreira