

AT#04: Radioatividade

Bartolomeu Joaquim Ubisse

Instituto Superior de Ciências de Saúde (ISCISA)

(Aulas preparadas para estudantes de Radiologia)

7 de Março de 2022

1 Radioactividade

- Estrutura do núcleo
- Decaimento Radioactivo
- Lei de decaimento Radioactivo e Actividade

Radioactividade

Estrutura do núcleo

A matéria tem o átomo como a sua unidade básica. O átomo, é também por sua vez, constituído por electrões em capas electrónicas e um núcleo composto por protões e neutrões (Fig.1).

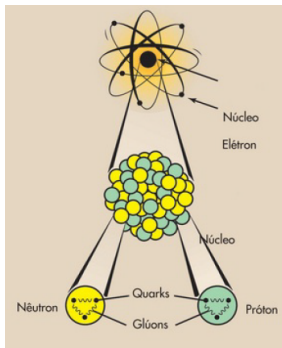


Figura 1: Composição do núcleo
[Bushong, 2013]

Assim, o átomo (X) pode ser representado:
 ${}^A_Z\text{X}_N$. Sendo, $A = Z + N$

Quando o átomo é estável, $Z = N$

Porém, alguns átomos existem em um estado excitado anormal, onde os seus núcleos são instáveis ($N \neq Z$).

Para garantir a estabilidade, o núcleo emite espontaneamente partículas e energia e transforma-se em outro átomo. ~> Este processo denomina-se **desintegração radioativa** ou **decaimento radioativo**

Radioatividade

Estrutura do núcleo

✓ Radioatividade é a emissão de partículas e energia pelo núcleo com vista a se atingir a estabilidade.

Todos os elementos da natureza com $Z > 83$ são radioativos. Porém, existem também elementos com $Z < 83$ que são radioativos, ex: Trítio (${}^3_1\text{H}$).

Tabela 1: Classificação dos átomos em função de arranjos nucleares [Bushong, 2013]

Arranjo	Z	A	N
isótopo	Mesmo	Diferente	Diferente
isóbaro	Diferente	Mesmo	Diferente
isótono	Diferente	Diferente	Mesmo
isômero ¹	Mesmo	Mesmo	Mesmo

¹A diferença está nos estados energéticos onde cada um se encontra

Radioatividade

Tabela 2: Alguns átomos importantes para a Ciência Radiológica [Bushong, 2013]

Elemento	Símbolo Químico	Número Atômico (Z)	Número de Massa Atômica (A)*	Número de Isótopos de Ocorrência Natural	Massa Elementar (u) [†]	Energia de Ligação Eletrônica da Camada K (keV)
Berílio	Be	4	9	1	9,012	0,11
Carbono	C	6	12	3	12,01	0,28
Oxigênio	O	8	16	3	15	0,53
Alumínio	Al	13	27	1	26,98	1,56
Cálcio	Ca	20	40	6	40,08	4,04
Ferro	Fe	26	56	4	55,84	7,11
Cobre	Cu	29	63	2	63,54	8,98
Molibdênio	Mo	42	98	7	95,94	20
Ródio	Rh	45	103	5	102,9	23,2
Rutênio	Ru	44	102	7	101	22,1
Prata	Ag	47	107	2	107,9	25,7
Estanho	Sn	50	120	10	118,6	29,2
Iodo	I	53	127	1	126,9	33,2
Bário	Ba	56	138	7	137,3	37,4
Tungstênio	W	74	184	5	183,8	69,5
Rênio	Re	75	186	2	185,9	71,7
Ouro	Au	79	197	1	196,9	80,7
Chumbo	Pb	82	208	4	207,1	88
Urânio	U	92	238	3	238	116

u, Unidade de massa atômica; keV, quiloeltronvolt.

*Isótopo mais abundante.

†Média de isótopos de ocorrência natural.

Radioatividade

Estrutura do núcleo

Exemplo 1

A partir desta lista de átomos, ${}_{54}^{131}\text{Xe}$, ${}_{53}^{130}\text{I}$, ${}_{53}^{131}\text{I}$, e ${}_{55}^{132}\text{Cs}$, indique os isótopos, isóbaros e isótonos.

Isótopos: ${}_{53}^{130}\text{I}$ e ${}_{53}^{131}\text{I}$; Isóbaros: ${}_{54}^{131}\text{Xe}$ e ${}_{53}^{131}\text{I}$; Isótonos: ${}_{54}^{131}\text{Xe}$, ${}_{53}^{130}\text{I}$ e ${}_{55}^{132}\text{Cs}$

De onde vêm os núcleos radioactivos ?

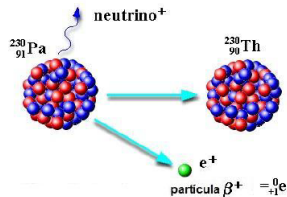
- Naturais:** Terão surgidos durante a época da formação da Terra e o seu decaimento ainda está em curso. Ex: ${}_{92}^{238}\text{U}$;
São continuamente produzidos na estratosfera pela acção da radiação cósmica. Ex: ${}^{14}\text{C}$;
- Artificiais:** Produzidos nos laboratórios com recurso a aceleradores de partículas ou reatores nucleares. (Ex. A maioria dos usados na medicina \rightsquigarrow ${}^{131}\text{I}$, ${}^{137}\text{Cs}$ e mais)

Tipos de decaimento dos radioisótopos

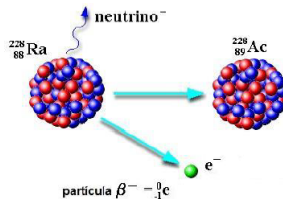
- $\alpha \rightsquigarrow$ há emissão da partícula α : ${}_Z^AX \longrightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4\text{He}$
- β^- e β^+ \rightsquigarrow há emissão de electrões e positrões: $n \longrightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ e $p \longrightarrow n + e^+ + \nu$
- $\gamma \rightsquigarrow$ há emissão de fotões com energia na faixa do γ , ocorre quando o radioisótopo decai do estado excitado para o fundamental.

Decaimentos β

$$\beta^+: {}^A_Z\text{X} \longrightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y} + e^+ + \nu$$

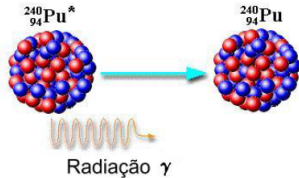
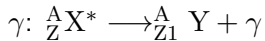


$$\beta^-: {}^A_Z\text{X} \longrightarrow {}^A_{Z+1}\text{Y} + e^- + \nu^-$$

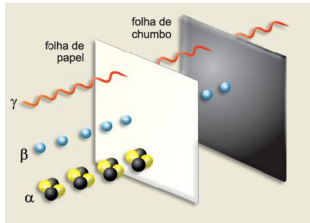


Radioatividade: Decaimento Radioativo

Decaimento γ



Poder de penetração das radiações



Radioactividade: Lei de decaimento Radioactivo e Actividade

O decaimento de um núcleo radioactivo é um evento aleatório, pelo que, não se pode prever com exactidão quando é que um dado núcleo no seio de vários poderá decair. Porém, não obstante esta limitação, sabe-se que se uma dada amostra contém **N** núcleos radioactivos, a sua taxa de decaimento, $\frac{dN}{dt}$, é proporcional à quantidade de núcleos radioactivos dessa amostra (**N**).

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (1)$$

Integrando-se esta expressão resulta em:

$$\int_{N_0}^{N(t)} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \Rightarrow \boxed{N(t) = N_0 e^{-\lambda t}} \quad (1a)$$

onde, $N(t)$ é o número de átomos que ainda não se desintegraram após um intervalo de tempo t , N_0 é o número de átomos inicialmente presentes e λ é a constante de desintegração.

Na prática o que interessa é a rapidez com que os núcleos radioactivos de uma amostra se desintegram, e não na quantidade de núcleos a se desintegrar. Esta magnitude denomina-se **Actividade (A)**.

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

A unidade de actividade no SI é *becquerel*² (Bq). Porém, ainda é comum expressar-se a actividade em *Curie* (Ci), unidade antiga.

✓ 1Bq = 1 decaimento por segundo.

✓ 1Ci = 3.7×10^{10} Bq

²Em homenagem ao Henri Becquerel, quem descobriu a radioactividade

Frequentemente a amostra com núcleos radioactivos é colocada nas proximidades de um detector, que tendo em consideração as suas limitações (ex. sensibilidade limitada), não regista todas as desintegrações ocorridas na tal amostra. Dado esse factor, as medidas não são expressas em *becquerel*, mas sim em **contagem por unidade de tempo**.

Medidas principais de tempo na radioactividade

- ① **Meia-vida ($T_{1/2}$)** \rightsquigarrow é o tempo necessário para que tanto $N(t)$ quanto A caiam à metade do valor inicial.

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (3)$$

- ② **Vida média (τ)** \rightsquigarrow é o tempo necessário para que tanto $N(t)$ quanto A caiam $1/e$ vezes do valor inicial.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (4)$$

Exemplo 2

Uma fonte radioactiva tem uma meia-vida de 1 minuto. No instante inicial ($t=0s$) a fonte é colocada nas proximidades de um detector e verifica-se que a taxa de contagem é 2000 contagens por segundo. Determine: i) A vida média e a constante de decaimento da fonte; ii) A taxa de contagem nos instantes $t = 1 \text{ min}$, 2 min , 3 min e 10 min , e esboce o gráfico cartesiano.

Dados:

$$T_{1/2} = 1 \text{ min} \\ \tau - ? \text{ e } \lambda - ?$$

Resolução:

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} = 1.44 \text{ min}; \lambda = \frac{1}{\tau} = 1.16 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Aula ainda não terminada !!!