



Biofísica

2021-2022

Docentes:

- Teresa Viseu
- Júlia Tovar

Programa sucinto da UC

1. Introdução
2. Técnicas não invasivas para o estudo de sistemas biológicos
3. Sondas fluorescentes aplicadas ao estudo de sistemas biológicos
4. Modelização de sistemas biológicos
5. Radiações ionizantes e seus efeitos biológicos
6. Processos de transporte
7. Bioeletricidade

Programa das PL

PL1 - Introdução à espectroscopia eletrónica e molecular

Cap2

Cap 2 e 3

PL2 - A fluoresceína como sonda de pH: aplicação à estimativa do pH de uma água natural

PL3 - Detecção de variações conformacionais de proteínas por transferência de energia

Cap 2 e 3

PL4 - Detecção da formação e fusão de membranas utilizando o pireno como sonda fluorescente

Cap 2, 3, 4

PL5 - Estudo da radiação emitida por uma fonte radioativa de ^{226}Ra

Cap5

Capítulo 7

Radiações ionizantes e seus efeitos biológicos

Radiação Ionizante

Quando se fala em **radiações ionizantes** por vezes referimo-nos não só a **radiação eletromagnética de alta energia** (energia suficiente para ionizar átomos e moléculas, ou seja com energias maiores do que UV próximo) mas também a **partículas subatômicas com elevada energia cinética**.

As radiações ionizantes destroem células e tecidos e por isso podem causar graves danos biológicos. Podem causar mutações genéticas e modificações nas células vivas.

No entanto, esta ação destrutiva nas células pode também ser utilizada de forma terapêutica no tratamento de tumores, desde que seja suficientemente localizada e controlada.

Radiação não-ionizante:

ondas rádio
micro-ondas
infravermelhos

“Radiação” ionizante:

Ultravioleta longínquo (UV)
raios-X
radiação gama (γ)

partículas alfa (α)

partículas beta (β)

feixes de neutrões, eletrões, prótons, etc

Radiação Ionizante

Considera-se ionizante qualquer radiação cuja energia seja superior a 10 eV, caso das radiações ultravioleta, raios-X e raios gama.

Como já sabem a radiação ultravioleta é emitida quando elétrons de valência em estados excitados decaem radiativamente para o estado fundamental.

Os raios-X são emitidos nos rearranjos agora não dos elétrons de valência dos átomos ou das moléculas mas sim dos seus elétrons mais internos.

As radiações ionizantes mais energéticas (partículas alfa e beta e radiação gama), com energias da ordem do MeV, resultam essencialmente de reações nucleares, induzidas ou espontâneas, que ocorrem no interior dos núclídeos. Nestas reações podem ser também emitidas outras partículas subatômicas de alta energia como neutrões, prótons ou elétrons.

Quando os núclídeos são instáveis decaem espontaneamente para núclídeos mais estáveis e é a esse processo que se chama radioatividade.

Radiações ionizantes muito energéticas são também obtidas nos aceleradores de partículas.

Radiação Ionizante

As primeiras informações sobre a constituição dos núcleos datam de 1896 ano em que A.H. Becquerel descobriu a radioatividade.

No ano anterior, 1895, Roentgen tinha descoberto os raios-X.

Becquerel ao tentar encontrar emissão de raios-X em minerais que se tornam fluorescentes por exposição à luz do sol, verificou que estes emitiam “radiação” mesmo sem serem expostos a qualquer radiação. Ou seja emitiam espontaneamente...

Esta “radiação” emitida espontaneamente por alguns elementos foi muito estudada nas primeiras décadas do século XX e foi designada por Rutherford por “radiação” α , β e γ , de acordo com o seu poder de penetração na matéria e capacidade de ionizar o ar.

A “radiação” α é a mais ionizante e a menos penetrante, seguida da β enquanto que a γ é a mais penetrante e a menos ionizante.

As experiências de Rutherford mostraram que a “radiação” α são núcleos de átomos de hélio, a “radiação” β são eletrões e a radiação γ é REM de muito alta energia.

O núcleo atômico

Sabe-se hoje que há muitas semelhanças entre a estrutura atômica e a estrutura nuclear:

Os **núcleos** também estão sujeitos às leis da Física Quântica, tendo **estados quantificados**.

Têm um estado fundamental e estados excitados e **emitem fótons (radiação gama)** nas transições entre os estados excitados e o estado fundamental.

Sabe-se também, em resultado das experiências de Rutherford, que deram origem ao modelo atômico com núcleo, que **o tamanho do núcleo é da ordem de $1-10 \text{ fm}$ ($f=10^{-15}$)**.

Os núcleos são constituídos por $\left\{ \begin{array}{l} \text{prótons} \\ \text{neutrões} \end{array} \right\}$ **nucleões** Como saberão nem o próton nem o neutrão são partículas elementares. Ambos são formados por quarks.

A um núcleo isolado chama-se **nuclídeo**.

Propriedades dos nucleões:

Nome	carga	massa	spin
Próton (p)	$1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$	$1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$	1/2
Neutrão (n)	0	$1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg}$	1/2

Tabela Periódica dos Elementos

Vamos olhar para uma tabela periódica e perceber a informação que lá existe...

A tabela periódica atual agrupa os 118 elementos químicos atualmente conhecidos (nem todos naturais) de acordo com o seu número atómico e as suas propriedades.

1

H

hidrogénio

1.008

2

He

hélio

4.003

3

Li

lítio

6.94

4

Be

berílio

9.012

11

Na

sódio

22.99

12

Mg

magnésio

24.305

19

K

potássio

39.098

20

Ca

cálcio

40.0784

37

Rb

rubídio

85.468

38

Sr

estrôncio

87.62

55

Cs

césio

132.91

56

Ba

bário

137.33

87

Fr

frâncio

88

Ra

rádio

3

Li

lítio

6.94

número atómico

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

—

www.tabelaPeriodica.org

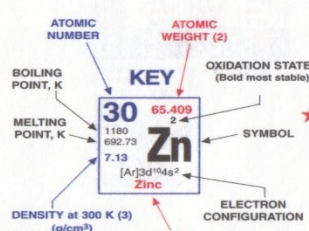
Licença de uso Creative Commons BY-NC-SA 4.0 - Use somente para fins educacionais

Caso encontre algum erro/erro, enviar para: per-nal.fatorvda@gmail.com

Versão: 0.0.0.0 (beta) com 11 algoritmos significativos, lançada em 02/11/2015 por: 2015-1-2015 - atualizada em: 11 de março de 2016

Tabela Periódica dos Elementos

Table of Selected Radioactive Isotopes																		Selected Radioactive Isotopes																	
<p>GROUP 1/IA</p> <p>1 1.00794 20.26 13.81 0.0899 t H 1s¹ Hydrogen</p> <p>3 (6.941) 1615 453.7 0.534 [He]2s¹ Li Lithium</p> <p>4 9.012182 2744 1.85 [He]2s² Be Beryllium</p> <p>11 22.999770 1156.1 0.971 [Ne]3s¹ Na Sodium</p> <p>12 24.30502 1363 1.74 [Ne]3s² Mg Magnesium</p> <p>19 39.9983 1033 0.862 [Ar]4s¹ K Potassium</p> <p>20 40.078 1757 1.55 [Ar]4s² Ca Calcium</p> <p>37 85.4678 961 1.532 [Kr]5s¹ Rb Rubidium</p> <p>38 87.62 1655 2.54 [Kr]5s² Sr Strontium</p> <p>55 132.90545 944 1.87 [Xe]6s¹ Cs Cesium</p> <p>56 137.327 2170 3.5 [Xe]6s² Ba Barium</p> <p>87 (223) 950 300 [Rn]7s¹ Fr Francium</p> <p>88 (226) 1413 5.0 [Rn]7s² Ra Radium</p> <p>89 (227) 3470 10.07 [Ac]5d¹7s² Ac Actinium</p> <p>105 (262) 1324 10.07 [Rf]5f¹⁴6d²7s² Rf Rutherfordium</p> <p>106 (266) 1324 10.07 [Rf]5f¹⁴6d³7s² Db Dubnium</p> <p>107 (264) 1324 10.07 [Rf]5f¹⁴6d⁴7s² Bh Bohrium</p> <p>108 (277) 1324 10.07 [Rf]5f¹⁴6d⁵7s² Hs Hassium</p> <p>109 (268) 1324 10.07 [Rf]5f¹⁴6d⁶7s² Mt Meitnerium</p> <p>110 (269) 1324 10.07 [Rf]5f¹⁴6d⁷7s² Ds Darmstadtium</p> <p>111 (272) 1324 10.07 [Rf]5f¹⁴6d⁸7s² Uub Ununbium</p> <p>112 (285) 1324 10.07 [Rf]5f¹⁴6d⁹7s² Uuh Ununhium</p> <p>113 (284) 1324 10.07 [Rf]5f¹⁴6d¹⁰7s² Uut Ununtrium</p> <p>114 (289) 1324 10.07 [Rf]5f¹⁴6d¹¹7s² Uuq Ununquadium</p> <p>115 (288) 1324 10.07 [Rf]5f¹⁴6d¹²7s² Uup Ununpentium</p> <p>116 1324 10.07 [Rf]5f¹⁴6d¹³7s² Uuh Ununhexium</p> <p>117 1324 10.07 [Rf]5f¹⁴6d¹⁴7s² Uus Ununseptium</p> <p>118 1324 10.07 [Rf]5f¹⁴6d¹⁵7s² Uuo Ununoctium</p>																		<p>Naturally occurring radioactive isotopes are designated by a mass number in blue (although some are also manufactured). Letter m indicates an isomer of another isotope of the same mass number. Half-lives follow in parentheses, where s, min, h, d, and y stand respectively for seconds, minutes, hours, days, and years. The table includes mainly the longer-lived radioactive isotopes; many others have been prepared. Isotopes known to be radioactive but with half-lives exceeding 10¹⁰ y have not been included. Symbols describing the principal mode (or modes) of decay are as follows (these processes are generally accompanied by gamma radiation):</p> <ul style="list-style-type: none">α alpha particle emissionβ⁻ beta particle (electron) emissionβ⁺ positron emissionEC orbital electron captureIT isomeric transition from upper to lower isomeric stateSF spontaneous fission																	
																		<p>13/IIIB</p> <p>5 10.811 4275 2348 [He]2s² B Boron</p> <p>14/IVB</p> <p>6 12.0107 4678 3915 [He]2s²2p² C Carbon</p> <p>15/VB</p> <p>7 14.0067 4480 2031 [He]2s²2p³ N Nitrogen</p> <p>16/VIB</p> <p>8 15.9994 7234 1.667 [He]2s²2p⁴ O Oxygen</p> <p>17/VIIIB</p> <p>9 18.99840 85.0 24.56 [He]2s²2p⁵ F Fluorine</p> <p>18/VIII</p> <p>10 20.1797 27.07 24.56 [He]2s²2p⁶ Ne Neon</p> <p>13 26.981538 26989 2.33 [Ne]3s²3p¹ Al Aluminum</p> <p>14 28.0855 3538 2.33 [Ne]3s²3p² Si Silicon</p> <p>15 30.97376 3597 2.33 [Ne]3s²3p³ P Phosphorus</p> <p>16 32.065 3597 2.07 [Ne]3s²3p⁴ S Sulfur</p> <p>17 35.453 3597 3.12 [Ne]3s²3p⁵ Cl Chlorine</p> <p>18 39.948 3597 3.73 [Ne]3s²3p⁶ Ar Argon</p>																	



58 140.116 3,4 Ce [Xe]4f ¹ 5d ¹ 6s ² Cerium	59 140.90765 3,4 Pr [Xe]4f ³ 6s ² Praseodymium	60 144.24 3,4 Nd [Xe]4f ⁴ 6s ² Neodymium	61 (145) 3,4 Pm [Xe]4f ⁵ 6s ² Promethium	62 150.36 3,2 Sm [Xe]4f ⁶ 6s ² Samarium	63 151.964 3,2 Eu [Xe]4f ⁷ 6s ² Europium	64 157.25 3,2 Gd [Xe]4f ⁷ 5d ¹ 6s ² Gadolinium	65 158.92534 3,2 Tb [Xe]4f ⁹ 6s ² Terbium	66 162.50 3,2 Dy [Xe]4f ¹⁰ 6s ² Dysprosium	67 164.9303 3,2 Ho [Xe]4f ¹¹ 6s ² Holmium	68 167.26 3,2 Er [Xe]4f ¹² 6s ² Erbium	69 168.9342 3,2 Tm [Xe]4f ¹³ 6s ² Thulium	70 173.04 3,2 Yb [Xe]4f ¹⁴ 6s ² Ytterbium	71 174.967 3,2 Lu [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ² Lutetium
90 232.0381 4 Th [Rn]6d ² 7s ² Thorium	91 231.0359 4 Pa [Rn]5f ² 6d ¹ 7s ² Protactinium	92 238.0289 4 U [Rn]5f ³ 6d ¹ 7s ² Uranium	93 (237) 4 Np [Rn]5f ⁴ 6d ¹ 7s ² Neptunium	94 (244) 4 Pu [Rn]5f ⁶ 7s ² Plutonium	95 (243) 4 Am [Rn]5f ⁷ 7s ² Americium	96 (247) 4 Cm [Rn]5f ⁷ 6d ¹ 7s ² Curium	97 (247) 4 Bk [Rn]5f ⁹ 7s ² Berkelium	98 (251) 4 Cf [Rn]5f ¹⁰ 7s ² Californium	99 (252) 4 Es [Rn]5f ¹¹ 7s ² Einsteinium	100 (257) 4 Fm [Rn]5f ¹² 7s ² Fermium	101 (258) 4 Md [Rn]5f ¹³ 7s ² Mendelevium	102 (259) 4 No [Rn]5f ¹⁴ 7s ² Nobelium	103 (262) 4 Lr [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ² Lawrencium

NOTES:

- (1) Black — solid. Red — gas. Blue — liquid. Outline — synthetically prepared.
- (2) Based upon carbon-12. () indicates most stable or best known isotope.
- (3) Entries marked with daggers refer to the gaseous state at 273 K and 1 atm and are given in units of g/l.

The A & B subgroup designations, are those recommended by the International Union of Pure and Applied Chemistry.

Nuclídeos e isótopos

Um nuclídeo representa-se pela seguinte convenção:



X – símbolo químico do elemento de que o núcleo faz parte

Z – número de prótons

N – número de neutrões

$A = Z + N$ – número de massa ou seja número de nucleões (p+n)

Cada elemento químico é caracterizado pelo seu número atómico, Z , número de prótons no núcleo.

Na natureza cada elemento químico é formado por uma série de isótopos em proporções bem definidas.

Os isótopos são nuclídeos que apenas diferem entre si pelo número de neutrões.

Conhecem-se mais de 3000 nuclídeos mas só 266 são estáveis. Todos os outros são instáveis, isto é radioativos.

Existem atualmente 118 elementos químicos então, em média, existem mais de 30 nuclídeos por cada elemento químico sendo apenas, em média, 2.7 estáveis.

Nuclídeos

Nuclídeos estáveis – aqueles a que é necessário fornecer energia da ordem dos MeV para vencer as energias de ligação dos seus nucleões.

Nuclídeos instáveis (radioativos) – aqueles que, espontaneamente, se transformam noutros nuclídeos mais estáveis emitindo partículas e/ou radiação com energias da ordem dos MeV.

Sabe-se hoje que a “radiação” emitida nas **desintegrações radioativas** pode ser de três tipos:

partículas α (núcleos de átomos de hélio, ${}^4_2\text{He}_2$)

partículas β (eletrões... ou positrões)

radiação γ (fotões de elevado conteúdo energético)

Desintegrações Radioativas

As desintegrações radioativas do tipo α ou β são processos através dos quais os núclídeos instáveis se convertem noutros mais estáveis por alteração do número de neutrões e de protões. O processo apenas termina quando se atinge um núcleo estável.

Frequentemente a estabilidade só é atingida após a emissão sucessiva de várias partículas α ou β , acompanhadas de emissão de fotões γ .

A emissão de radiação γ está sempre associada à libertação do excesso de energia que os núcleos possuem quando, no processo de desintegração α ou β ficam em estados excitados.

Desintegração ou decaimento alfa

As desintegrações alfa ocorrem normalmente em núcleos com $Z > 82$.

Neste processo um nuclídeo “pai” instável decai para um nuclídeo “filho” através da emissão de uma partícula α , um núcleo de hélio, ${}^4_2\text{He}_2$.

É um fenómeno que ocorre espontaneamente, já que é energeticamente favorável. A massa do nuclídeo “pai” é maior que a soma da massa do nuclídeo “filho” com a massa da partícula α libertada o que significa que o processo é acompanhado de libertação de energia, na forma de energia cinética da partícula α (e também do núcleo, mas muito menos porque o núcleo é muito mais pesado) da ordem dos MeV.

Este processo radioativo pode-se representar por



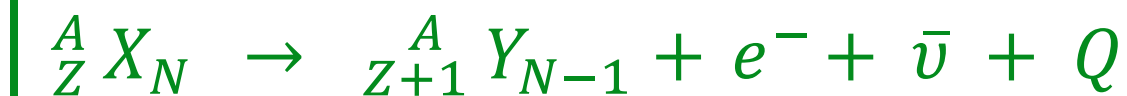
Este decaimento é ainda acompanhado da emissão de fotões γ associados à estabilização do nuclídeo Y que fica habitualmente em estados excitados.

Desintegração ou decaimento beta

Existem dois tipos de transformações radioativas tipo β , a desintegração β^- e a desintegração β^+ .

Decaimento β^- : no interior dum núcleo, um neutrão transforma-se num próton emitindo um eletrão (e^-) e um antineutrino, $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$. Esta desintegração pode-se representar por:

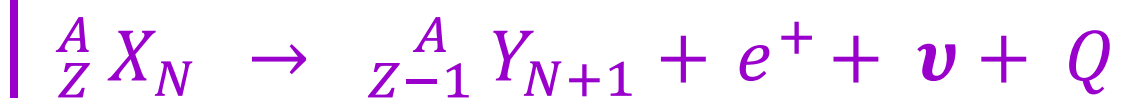
Nos processos radioativos naturais só existem decaimentos β^-



NOTA: não existem eletrões nos núcleos! O eletrão é criado no núcleo a partir de um neutrão e é libertado imediatamente.

Decaimento β^+ : no interior dum núcleo, um próton transforma-se num neutrão emitindo um positrão (e^+) e um neutrino, $p \rightarrow n + e^+ + \nu$. Esta desintegração pode-se representar por:

Todos os nuclídeos que decaem por β^+ são produzidos laboratorialmente.



Nos decaimentos β o número de massa não se altera

Radiação ionizante – feixes de partículas e raios-X

Para além das partículas α e β e da radiação γ resultantes dos decaimentos radioativos, também feixes de partículas subatômicas, neutrões, prótons ou eletrões, suficientemente acelerados, se podem considerar como “radiação” ionizante.

O neutrão, sendo uma partícula sem carga elétrica, não é diretamente ionizante mas pode transferir a sua energia para outras partículas com carga, que por sua vez podem produzir ionização. Os neutrões, exatamente por não terem carga, são muito penetrantes, podendo percorrer grandes distâncias no interior da matéria antes de interagirem com ela.

Também os raios-X, já referidos anteriormente, são radiação ionizante.

A principal diferença entre os raios gama e os raios-X está na sua origem.

Os raios gama têm origem no núcleo ou resultam da aniquilação de partículas;

Os raios X têm origem fora do núcleo, no rearranjo dos eletrões do cerne.

Radioatividade – taxa de desintegração

Como já se disse, todos os núclídeos instáveis transformam-se/desintegram-se espontaneamente emitindo partículas (alfa e/ou beta) e radiação gama até atingirem um núclídeo estável.

Numa determinada população o número de núclídeos que se desintegra por unidade de tempo, $\frac{dN}{dt}$, denomina-se taxa de desintegração, taxa de decaimento ou atividade.

A atividade é uma grandeza estatística (segue uma distribuição de Poisson), dependente do tempo e do núclídeo e é proporcional ao número de núclídeos que ainda não decaíram, $N(t)$,

$$A(t) = -\frac{dN}{dt} = k N(t)$$

O sinal menos desta equação mostra que a atividade decresce ao longo do tempo.

$A(t)$ – é a atividade da substância radioativa (número de núclídeos que se desintegram por segundo);

$N(t)$ – é o número de núclídeos radioativos existentes no instante t (número de núclídeos por desintegrar, em cada instante);

k – é a constante de desintegração do núclídeo (representa a probabilidade de desintegração de um núclídeo por unidade de tempo), e tem um valor característico para cada núclídeo (as unidades do k são s^{-1}).

Radioatividade – Lei do decaimento radioativo

Partindo de $A(t) = -\frac{dN}{dt} = k N(t)$

e integrando $\int \frac{dN}{N(t)} = \int -k dt$

obtém-se $\ln N(t) = -k t + cte$

$$N(t) = e^{-kt} e^{cte}$$

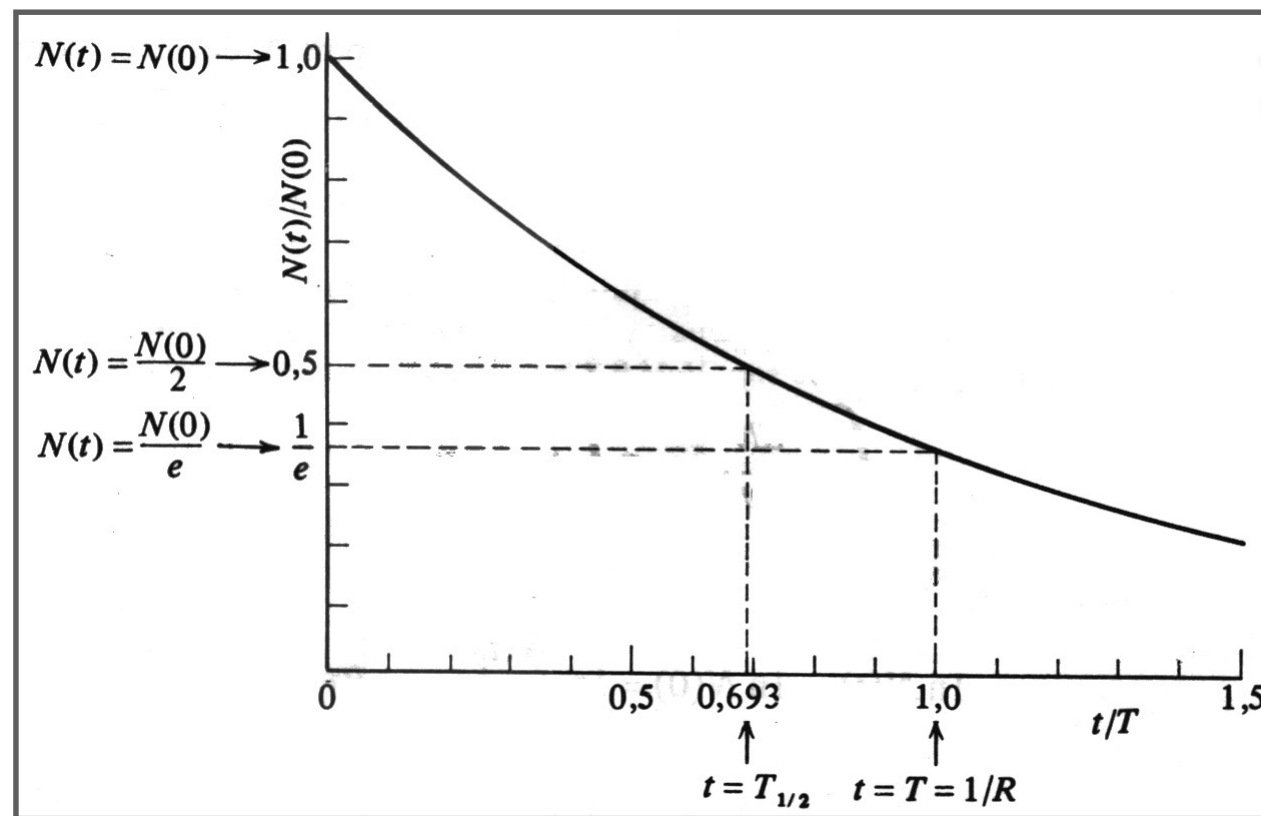
$$N(t) = N_0 e^{-kt}$$

$$A(t) = A_0 e^{-kt}$$

sendo

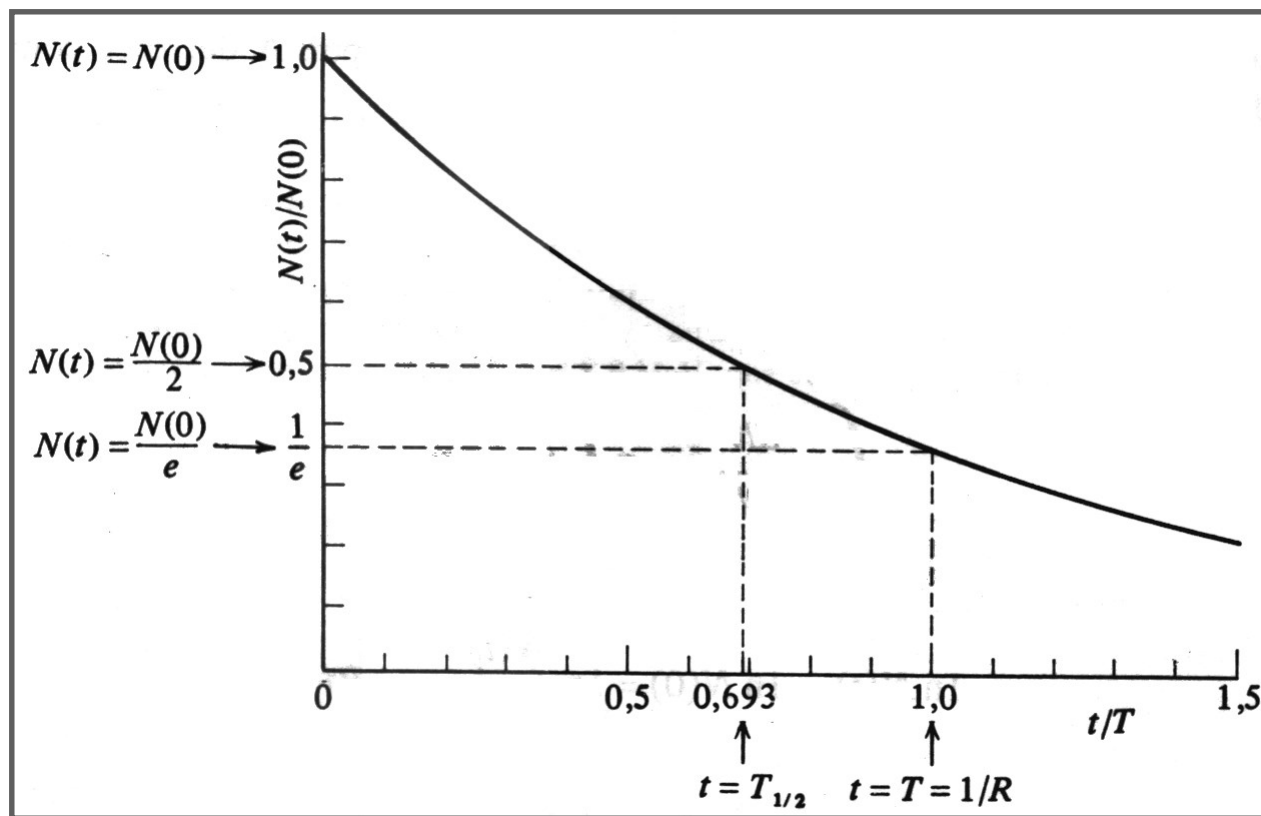
$$A_0 = k N_0$$

Representação da equação $N(t)/N_0 = e^{-kt}$ mostrando-se o decaimento exponencial da espécie radioativa ao longo do tempo.



Radioatividade – Lei do decaimento radioativo

Representação da equação $N(t)/N_0 = e^{-kt}$ mostrando-se o decaimento exponencial da espécie radioativa ao longo do tempo.



Podem-se definir as seguintes grandezas:

Tempo de vida de um nuclídeo (τ): tempo ao fim do qual o número de nuclídeos é igual a $1/e$ do número inicial de nuclídeos (N_0)

$$(N_0/e) / N_0 = e^{-k\tau}$$

$$1/e = e^{-k\tau}$$

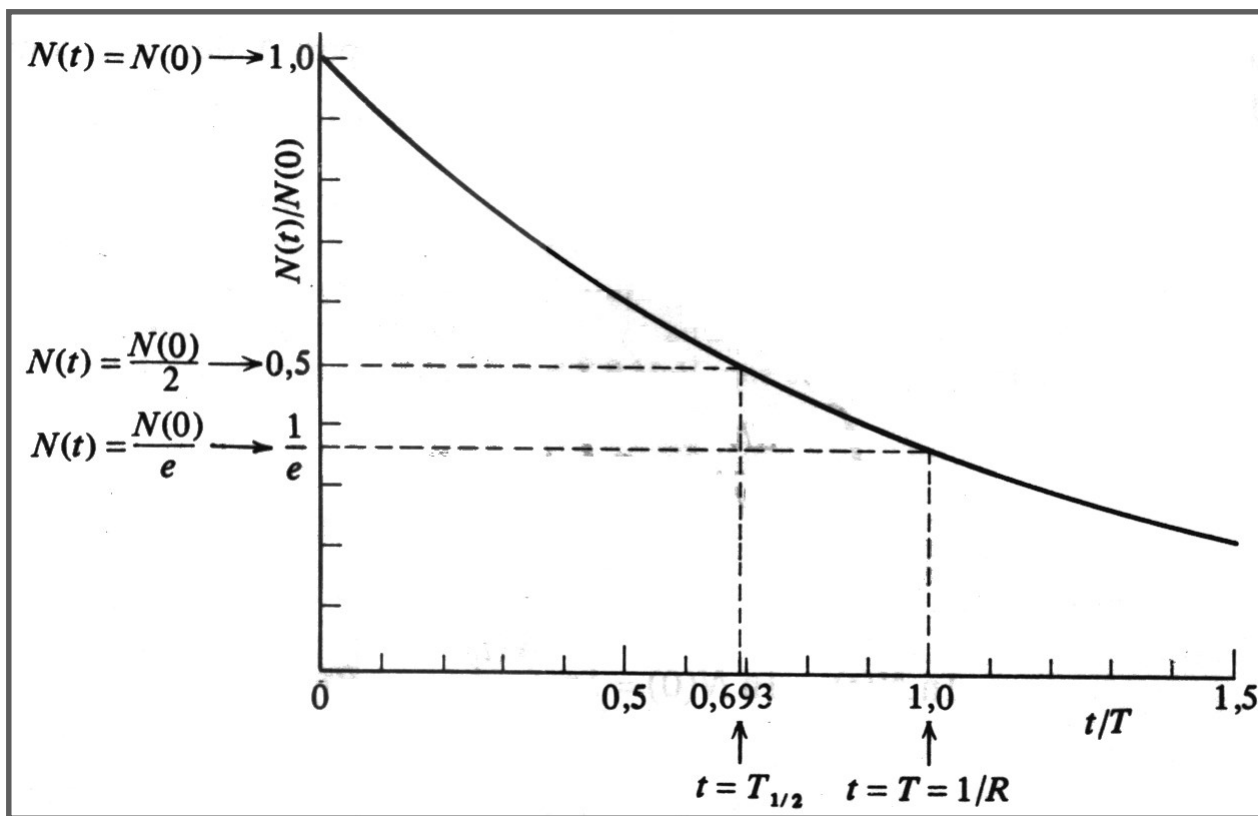
$$\ln(1/e) = -k\tau$$

$$-1 = -k\tau$$

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

Radioatividade – Lei do decaimento radioativo

Representação da equação $N(t)/N_0 = e^{-kt}$ mostrando-se o decaimento exponencial da espécie radioativa ao longo do tempo.



Podem-se definir as seguintes grandezas:

Tempo de meia-vida de um nuclídeo ($\tau_{1/2}$): tempo para que um dado número de núcleos, N_0 , se reduza a $N_0/2$.

$$(N_0/2) / N_0 = e^{-k \tau_{1/2}}$$

$$1/2 = e^{-k \tau_{1/2}}$$

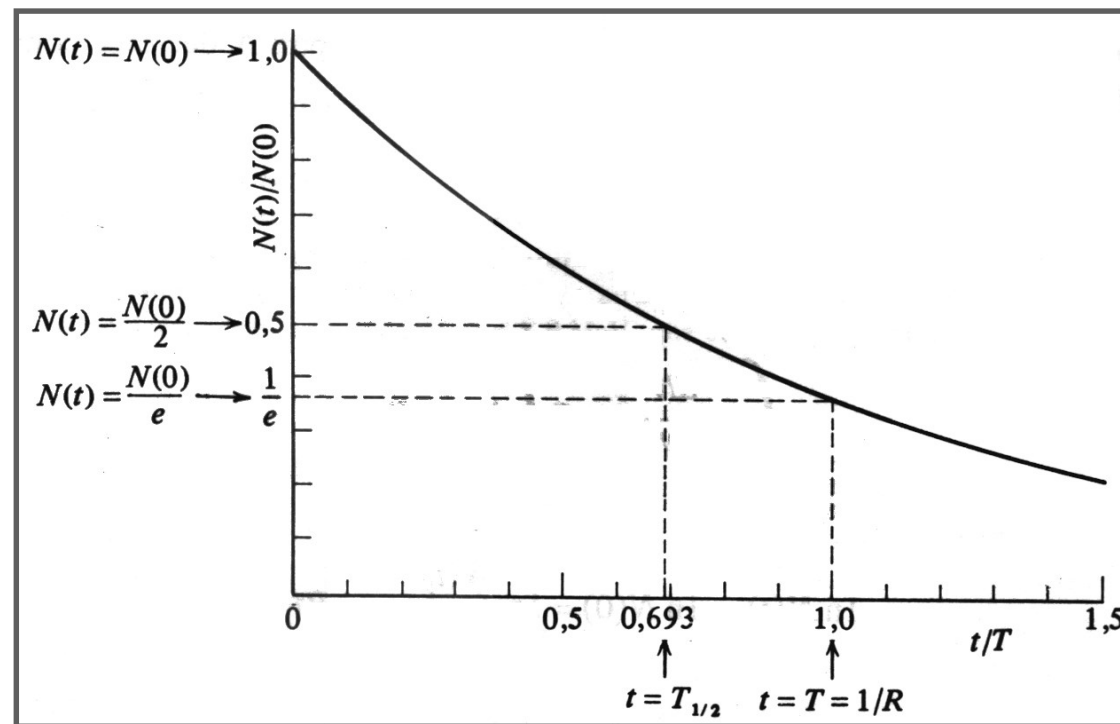
$$\ln(1/2) = -k \tau_{1/2}$$

$$\tau^{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \tau \ln 2$$

Radioatividade – Lei do decaimento radioativo

Como determinar experimentalmente a vida média de um dado nuclídeo?

- Pode-se fazer o registo direto ou indireto da taxa de desintegração em função do tempo (A vs t). Este método só pode ser utilizado em nuclídeos radioativos com tempos de vida relativamente curtos.
- No caso do nuclídeo radioativo ter um tempo de vida muito longo (anos ou milhares de anos) tem de se determinar, para um dado instante, o número de desintegrações por segundo, $A(t)$ e o número de núcleos radioativos presentes nesse momento na amostra, $N(t)$ e fazer $A(t) = k N(t)$



Radioatividade – como medir?

Unidades usadas para medir a atividade dum nuclideio

- Unidade SI: Becquerel (Bq)
- Outra unidade muito usada: Curie (Ci)

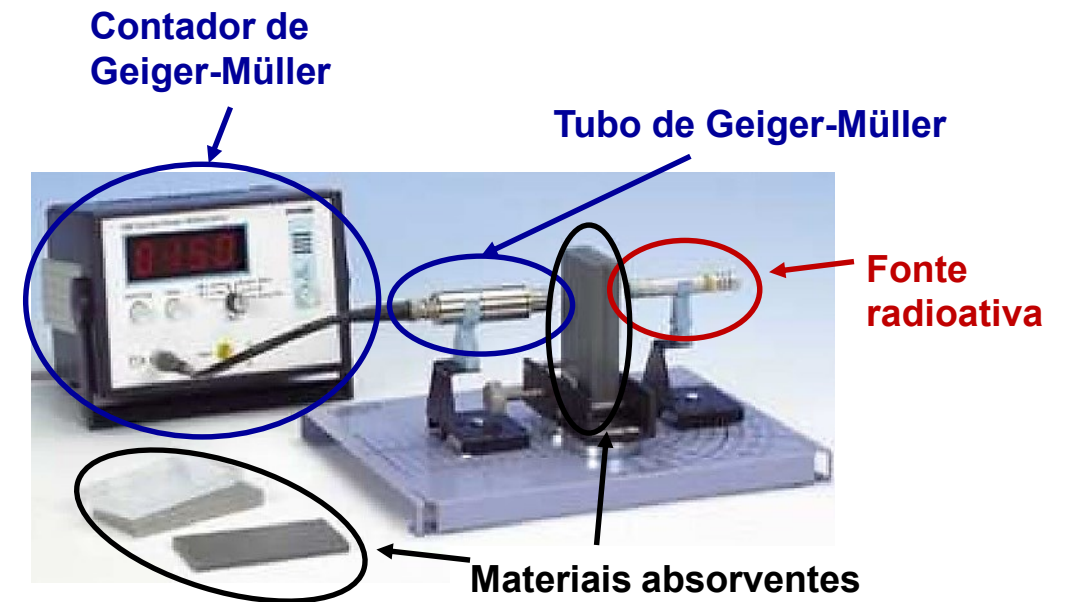
$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ desintegração/segundo}$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ desintegrações/segundo}$$

Detetores de radiação de alta energia

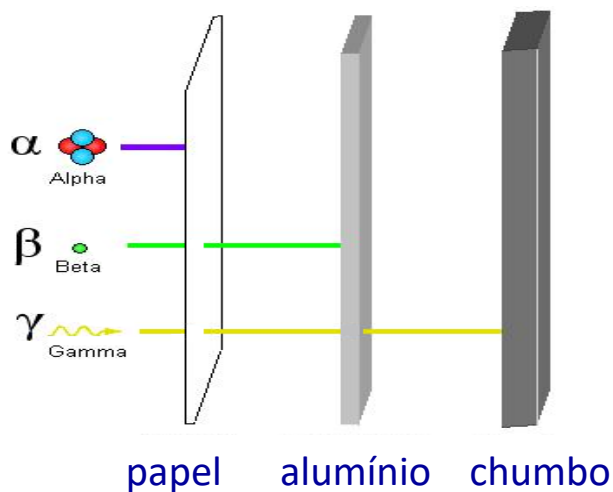
Os equipamentos para detetar as partículas α e β e os fotões γ emitidos nas desintegrações radioativas funcionam com base na ionização provocada pelas partículas ou pela radiação γ .

Os mais importantes são os contadores de Geiger-Müller e os detetores de cintilação



Absorção da Radiação pela Matéria

- A radiação, de qualquer zona do espectro eletromagnético, é absorvida pela matéria segundo uma lei exponencial $I = I_0 e^{-\mu x}$
- A eficiência da absorção depende da radiação incidente, do material absorvente e da sua espessura.
- Chama-se alcance à distância que uma dada radiação percorre antes de ser “parada” (absorvida) pela matéria.



As partículas alfa, devido à sua elevada massa, são facilmente paradas em poucos centímetros de ar – alcance pequeno.

As partículas beta (β^+ e β^-) têm um alcance maior do que as partículas alfa (têm menor massa).

A radiação γ é a de maior alcance, mais penetrante. São necessários cerca de 1 cm de chumbo ou 6 cm de cimento para reduzir a sua intensidade a metade.

Absorção da Radiação pela Matéria

A lei exponencial da absorção mostra que, à medida que a espessura dum dado material vai aumentando, vai diminuindo a intensidade da radiação detetada.

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

I - intensidade do feixe após atravessar um meio de espessura x ;

I_0 - intensidade inicial do feixe;

μ - coeficiente de absorção (normalmente em cm^{-1}).

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu x$$

À espessura de um material absorvente, que reduz para metade a intensidade da radiação incidente, chama-se **camada semi-redutora** e é uma **medida da penetrabilidade da radiação**.

$$\frac{I_0}{2} = I_0 e^{-\mu x}$$

$$\ln \frac{1}{2} = -\mu x_{1/2}$$

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

Absorção da Radiação pela Matéria

Energia (MeV)	Alcance (cm)		
Partículas alfa (α)	Ar	Tecido humano	Alumínio
1.0	0.55	0.33×10^{-2}	0.32×10^{-3}
2.0	1.04	0.63×10^{-2}	0.61×10^{-3}
3.0	1.67	1.00×10^{-2}	0.98×10^{-3}
4.0	2.58	1.55×10^{-2}	0.50×10^{-3}
5.0	3.50	2.10×10^{-2}	2.06×10^{-3}
Partículas Beta (β)	Ar	Tecido humano	Alumínio
0.01	0.23	0.27×10^{-3}	
0.1	12.0	1.51×10^{-2}	4.3×10^{-3}
0.5	150	0.18	5.9×10^{-3}
1.0	420	0.50	0.15
2.0	840	1.00	0.34
3.0	1260	1.50	0.56

Energia (MeV)	Espessura da camada semi-redutora (cm)	
raios-X ou raios γ	Tecido humano	Chumbo
0.01	0.13	4.5×10^{-4}
0.05	3.24	0.8×10^{-2}
0.1	4.15	1.1×10^{-2}
0.5	7.23	0.38
1.0	9.91	0.86
5.0	23.10	1.44

Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante

Existem duas organizações internacionais que definem as grandezas de medida da radiação, as suas unidades e estabelecem os limites máximos permissíveis (LMP) de dose para os trabalhadores que lidam com radiações e para o público em geral. São elas:

- Comissão Internacional para a Proteção Radiológica (*ICRP*)
- Comissão Internacional para as Unidades de Radiação e suas Medidas (*ICRU*)

Define-se assim, para as radiações ionizantes, a dose de radiação absorvida pelos tecidos (D).

Esta dose corresponde à energia cedida à matéria, aos tecidos biológicos, pela radiação ionizante (que se admite que é toda absorvida) por unidade de massa da matéria irradiada.

$$D = \text{dose absorvida} = \frac{\text{energia absorvida}}{\text{massa da matéria irradiada}}$$

Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante

$$D = \frac{\text{energia absorvida}}{\text{massa da matéria irradiada}}$$

As dimensões da dose absorvida são J/kg.
A unidade de dose do sistema internacional é o Gray (Gy)

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rd (rad)}$$

$$1 \text{ rd} = 0.01 \text{ J/kg}$$

Os danos químicos e biológicos que ocorrem num material (tecido biológico) exposto à radiação ionizante dependem, não só da energia absorvida, mas também do tipo (qualidade) de radiação incidente.

Então, quando se pretende quantificar o efeito biológico da radiação, define-se a chamada dose equivalente, H

$$H = D \times Q$$

onde Q é o chamado fator de qualidade da radiação (adimensional).

Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante

$$H = D \times Q$$

A dose equivalente H depende do fator de qualidade da radiação Q

O fator de qualidade, Q , considera que a radiação que produz maior número de ionizações num tecido, por unidade de comprimento, causa maior dano biológico.

Tipo de radiação	Fator de qualidade (Q)
Raios X, raios gama e eletrões	1
Neutrões e protões	10
partículas alfa e de carga superior a 1	20

A unidade de dose equivalente, no Sistema Internacional (SI) é o Sievert (Sv)

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} \cdot Q \quad (\text{J/kg})$$

(apesar do nome da unidade ser diferente as dimensões do Sv e do Gy são as mesmas)

Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante

Tabela com alguns valores de limites máximos permissíveis (LMP) recomendados pela ICRP *

		Público em geral	Trabalhadores expostos
Dose equivalente anual	cristalino	15 mSv/ano	150 mSv/ano
	pele	50 mSv/ano	500 mSv/ano
	mãos e pés	50 mSv/ano	500 mSv/ano

* Comissão Internacional para a Proteção Radiológica

Os valores de LMP são diferentes para cada tecido porque a sua sensibilidade à radiação também é diferente. Quanto maior for o índice de proliferação celular maior será a sensibilidade à radiação.

Radiossensibilidade elevada	medula óssea, linfócitos, sistema ocular, ...
Radiossensibilidade média	pele, órgãos (fígado, coração, pulmões)
Radiossensibilidade baixa	ossos, músculos

Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante

Todas as pessoas, e obviamente todos os seres vivos, estão continuamente expostos a radiação ionizante proveniente de fontes naturais que pode ter duas origens distintas: Radiação Cósmica
Radiação Terrestre

As fontes naturais de radiação atuam no corpo humano quer por via externa (através da pele) quer por via interna (ingestão ou inalação de elementos radioativos).

30% a 40% da radiação natural ou radiação de fundo provém da radiação cósmica.

Em Portugal a radiação de fundo média ao nível do mar é de 4 mSv / ano.

A cerca de 3000 m de altitude a radiação de fundo é cerca de 20% superior à radiação ao nível do mar.

Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante

A *Radiação Cósmica* tem origem no sol e no espaço e contém principalmente raios-X e feixes de prótons muito energéticos que, por interação com átomos na atmosfera exterior, podem gerar outras partículas (e^- , e^+ , n) e radiação γ assim como isótopos radioativos como o ^{14}C e ^3H .

A *Radiação Terrestre* tem origem nos elementos radioativos naturais que existem na superfície da Terra. Destes os mais predominantes são ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th que possuem tempos de meia vida de 10^9 anos ou mais. Estes dois últimos são o ponto de partida de uma série de decaimentos radioativos contendo elementos sólidos e gasosos com tempos de vida curtos encontrados no ar e nos aerossóis.

Os elementos radioativos naturais e os seus produtos de decaimento podem ser absorvidos pelo corpo humano via cadeia alimentar ou através dos pulmões.

Existem ainda alguns isótopos radioativos presentes naturalmente no nosso corpo como o ^{14}C ou o ^{40}K .

Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante

Para além da radiação ionizante proveniente de fontes naturais estamos também, e cada vez mais, sujeitos a radiações ionizantes produzidas artificialmente nomeadamente raios-X provenientes de meios de diagnóstico médico, como por exemplo as radiografias e radiação γ usada nos tratamentos de radioterapia contra o cancro.

Devemos procurar reduzir ao máximo a exposição às radiações ionizantes produzidas artificialmente (das naturais é difícil protegemo-nos) tomando as seguintes precauções:

- permanecer o mínimo tempo possível próximo da fonte de radiação;
- trabalhar à máxima distância possível da fonte;
- usar blindagens adequadas para diminuir ou eliminar completamente a radiação.

O efeito da exposição às radiações ionizantes depende de vários fatores:

tipo de radiação

tipo de tecido afetado

dose total recebida

tempo de irradiação

área ou volume do corpo exposto

Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante

É importante conhecer o peso da radiação natural (cósmica, terrestre e interna) relativamente às radiações que recebemos e que são produzidas artificialmente.

Radiação Natural ($\mu\text{Sv}/\text{ano}$)

Radiação cósmica	≈ 280
Radiação Terrestre	≈ 500
Radiação Interna	≈ 200
Total	≈ 980

Os testes com armamento nuclear têm provocado um aumento da radiação terrestre de fundo.

Na maior parte dos países uma dose adicional que exceda os $350 \mu\text{Sv}/\text{ano}$ é proibida por lei.

A dose anual de radiação permitida em Inglaterra em aplicações médicas é cerca de $340 \mu\text{Sv}$ para a medula óssea e de $190 \mu\text{Sv}$ para os órgãos reprodutores.

Concluindo, as doses de radiação artificial, usadas em radiografias e outros sistemas de diagnóstico e tratamento são muito baixos relativamente à radiação natural de fundo.

Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante

Os efeitos da radiação ionizante nos seres humanos, de acordo com o intervalo de tempo entre a absorção da radiação e o aparecimento dos efeitos fisiológicos, podem-se classificar como **agudos** ou **latentes**.

Efeitos agudos - aparecem ao fim de alguns minutos, horas, dias ou semanas.

Efeitos latentes - aparecem ao fim de alguns anos, décadas ou mesmo gerações.

Os efeitos agudos ou a curto prazo estão associados a altas doses de radiação, acima de 1 Sv, recebidas em grandes áreas do corpo, durante um curto período de tempo e os sintomas podem ser náuseas, vômitos, perda de apetite, queda de cabelo, febre, hemorragias,...morte

Os efeitos latentes, a longo prazo ou tardios podem ser observados em consequência da exposição a menores doses de radiação mas durante longos períodos de tempo. É o caso de radiologistas e investigadores que trabalham com radiação.

Efeitos Biológicos Agudos da Radiação Ionizante

Os sistemas de órgãos que parecem ser mais afetados na síndrome aguda de radiação são:

- Medula óssea e sistema hematopoiético – mesmo com doses equivalentes abaixo de 5 Sv;
- Sistema gastrointestinal - para doses equivalentes entre 5 e 20 Sv,
- Sistema nervoso central - para doses equivalentes acima de 50 Sv.

Geralmente, doses agudas maiores que 50 Sv danificam o sistema nervoso central de tal forma que a morte ocorre em poucos dias.

Mesmo com doses inferiores a 5 Sv, as pessoas apresentam sintomas de doença causada pela radiação que podem incluir cefaleias, náuseas, vômitos, diarreia, cólicas intestinais, salivação, desidratação, fadiga, apatia, letargia, sudorese, febre. As vítimas podem sobreviver no início, mas a morte ocorre uma ou duas semanas depois por problemas gastrointestinais.

Doses menores podem não causar danos gastrointestinais, mas ainda assim causam a morte após alguns meses, principalmente devido a danos na medula óssea.

Efeitos Biológicos Tardios da Radiação Ionizante

Os efeitos da radiação ionizante a longo prazo podem ser somáticos ou genéticos.

Os efeitos genéticos traduzem-se por mutações nas células reprodutoras. Afetam as gerações futuras e surgem quando os órgãos reprodutores são expostos à radiação. Aparentemente não afetam o indivíduo que sofre a exposição, mas apenas os seus descendentes.

As consequências dos efeitos genéticos podem ser::

- deficiências físicas;
- deficiências mentais;
- suscetibilidade a certas doenças crónicas;
- anormalidades bioquímicas.

Efeitos Biológicos Tardios da Radiação Ionizante

Os efeitos da radiação ionizante a longo prazo podem ser somáticos ou genéticos.

Os efeitos somáticos afetam diretamente o indivíduo exposto à radiação mas normalmente não são transmitidos às gerações futuras.

Alguns dos efeitos somáticos mais importantes são:

- Aumento na incidência de cancro;
- Anomalias no desenvolvimento do embrião;
- Indução de cataratas;
- Redução da esperança de vida média.

A gravidade destes efeitos depende de vários fatores:

- Tipo de radiação;
- Profundidade atingida (relacionada com a energia da radiação e com o tipo de tecido irradiado)
- Área ou volume do corpo exposto;
- Dose total recebida;
- Tempo de irradiação.

Efeitos Biológicos Somáticos da Radiação Ionizante

Aumento na incidência de cancro:

Dependendo da radiação utilizada e da parte do corpo exposta, é possível induzir os mais variados tipos de tumores no entanto os mais prevalentes são cancro de pele, da tiróide, dos ossos, da mama e diversos tipos de leucemia.

Uma das evidências mais fortes dos efeitos tardios somáticos refere-se aos sobreviventes de bombardeamentos atômicos nas cidades de Hiroxima e Nagasáqui em 1945 onde foi verificado um aumento de incidência de leucemia e de cancro na tiroide e nos ossos, dependendo da dose recebida.

Anomalias no desenvolvimento do embrião

Em geral, as pessoas mais jovens são as mais sensíveis à radiação, e particularmente os embriões.

Efeitos Biológicos Somáticos da Radiação Ionizante

Indução de cataratas

Quando o sistema ocular humano é diretamente atingido pela radiação, as células que morrem não são substituídas ou expelidas, como acontece com outros órgãos do corpo.

As células mortas que permanecem, podem produzir opacidade do cristalino, isto é, cataratas.

O período latente entre a irradiação e a opacidade pode ser de meses ou anos.

Redução da esperança de vida média

Observou-se também que a esperança de vida média dos radiologistas e outros trabalhadores expostos à radiação é inferior à da população em geral..