

---

# FISICA PARA BIOLOGIA F107 A : AULA 11

---

PROFESSOR Orlando Luis Goulart Peres

Pagina do curso: <https://sites.ifi.unicamp.br/orlando/ensino/f-107-fisica-para-biologia/>

Moodle: <https://www.ggte.unicamp.br/ea/>

---

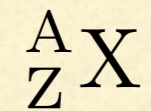
---

# FÍSICA NUCLEAR

Física Nuclear: descrição do comportamento do núcleo atômico.

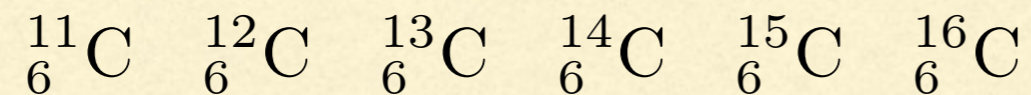
Núcleo: protons e neutrons

Número atômico  $Z$ : número de protons



Número de massa  $A$ : protons+neutrons

Mesmo  $Z$ , **diferente  $N$** : isótopos



---

# FÍSICA NUCLEAR E RADIOATIVIDADE:

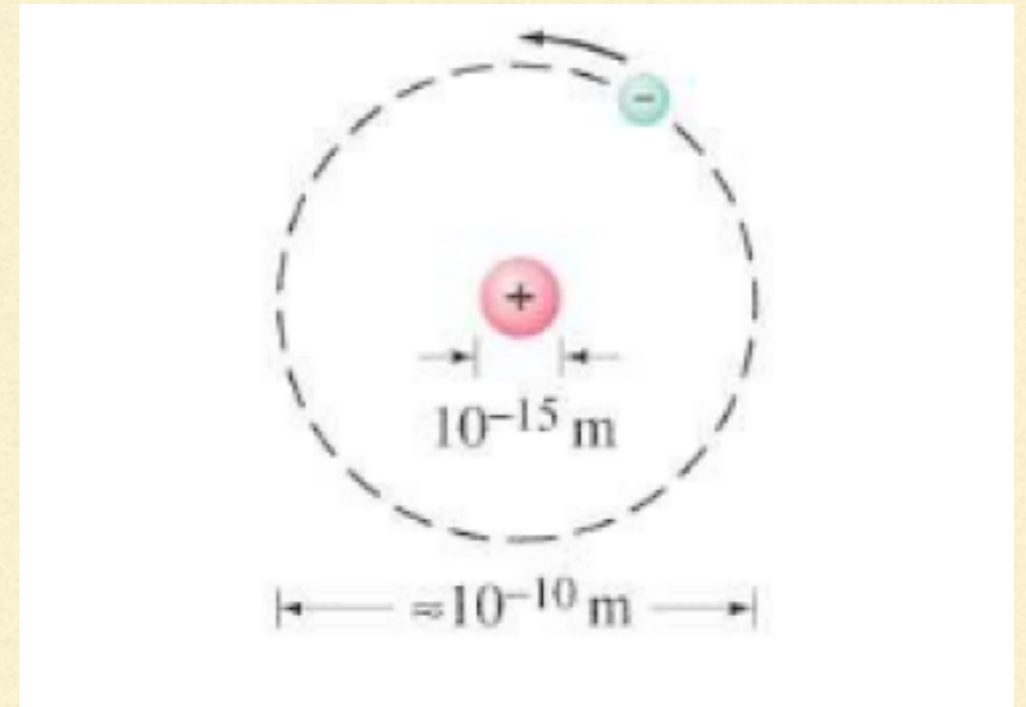
---

$$r \sim (1.2 \times 10^{-15} \text{ m})(A^{1/3})$$

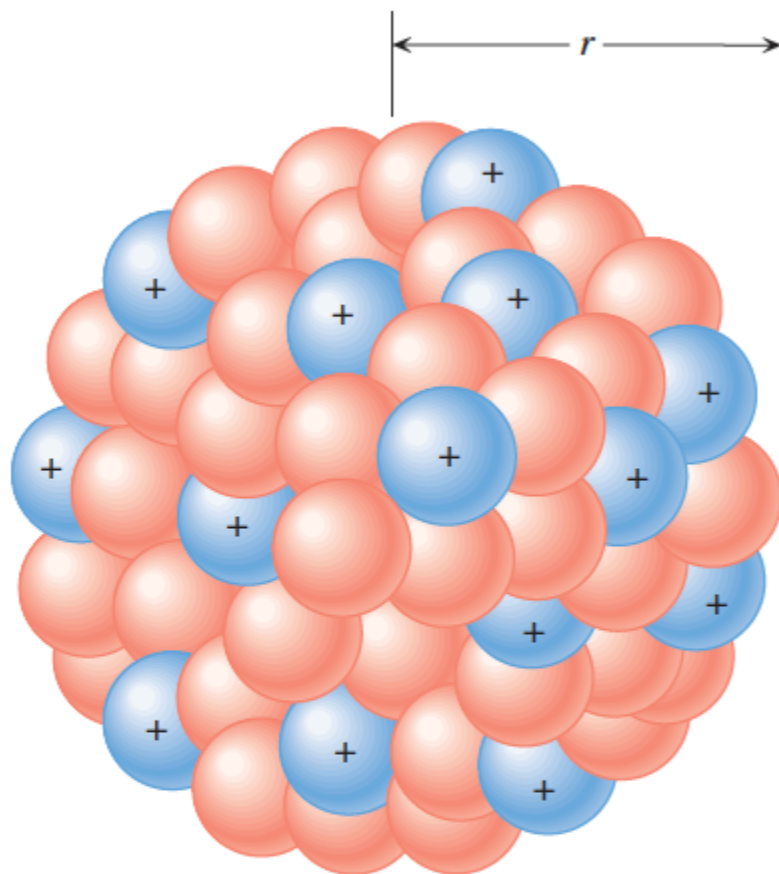
## Raios dos núcleos

## Densidade

$$\frac{\rho_{\text{nucleo}}}{\rho_{\text{atomo}}} = \frac{m_{\text{nucleo}}/V_{\text{nucleo}}}{m_{\text{atomo}}/V_{\text{atomo}}} \sim 10^{15}$$



# NÚCLEO

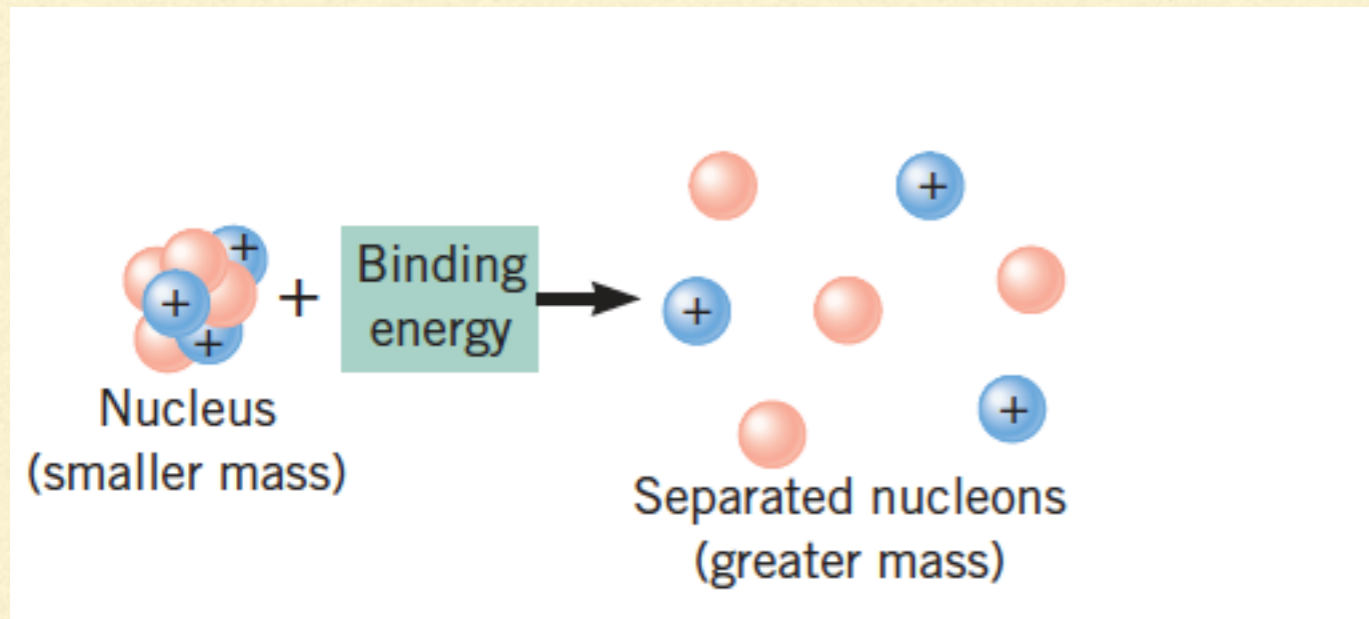


**Figure 31.1** The nucleus in an atom is approximately spherical (radius =  $r$ ) and contains protons ( $\oplus$ ) clustered closely together with neutrons ( $\ominus$ ).

Qualquer núcleo com  $Z > 83$  não é estável.

Radioatividade: instabilidade do núcleo

# RADIOATIVIDADE



${}^4_2\text{He}$  < 2 protons e 2 neutrons?

Se sim, o átomo é estável.

# MASSA ATOMICA

Particle	Electric Charge (C)	Mass	
		Kilograms (kg)	Atomic Mass Units (u)
Electron	$-1.60 \times 10^{-19}$	$9.109\ 382 \times 10^{-31}$	$5.485\ 799 \times 10^{-4}$
Proton	$+1.60 \times 10^{-19}$	$1.672\ 622 \times 10^{-27}$	1.007 276
Neutron	0	$1.674\ 927 \times 10^{-27}$	1.008 665
Hydrogen atom	0	$1.673\ 534 \times 10^{-27}$	1.007 825

massa  ${}^4_2\text{He}$  :4,002603 u

${}^{12}_6\text{C}$  12 unidades de massa atômica

---

# MASSA ATOMICA

**Definição:**  $1\text{u} = \frac{{}^{12}\text{C}}{12}$

$$1\text{u} = \frac{{}^{12}\text{C}}{12} = 1\text{u} \left( \frac{1.67 \times 10^{-17}\text{kg}}{1.0072\text{u}} \right) = 1.660 \times 10^{-27}\text{kg}$$

$$E_0 = mc^2$$

$$1\text{u} == 1.49 \times 10^{-10}\text{J} \left( \frac{1.602 \times 10^{-19}}{1.602 \times 10^{-19}} \right) = 931.5\text{MeV}$$

---

**Dado a massa molar como calcular o numero de atomos?**



$$N_{\text{atomo}} = \frac{m_{\text{Atomo}} \times N_A}{\text{massa molar}}$$

Para 10g de Helio,

$$N_{\text{atomo}} = \frac{m_{\text{Atomo}} \times N_A}{\text{massa molar}} = \frac{10 \text{ g } 6.022 \times 10^{22}}{4.00263} = 15,0 \times 10^{22}$$





---

# ESTABILIDADE

---

Testando com  ${}^4_2\text{He}$  : 2p+2n

Massa Helio: 4,002603 u

Massa proton: 1,007276 u  $\times 2 = 2,014552$  u

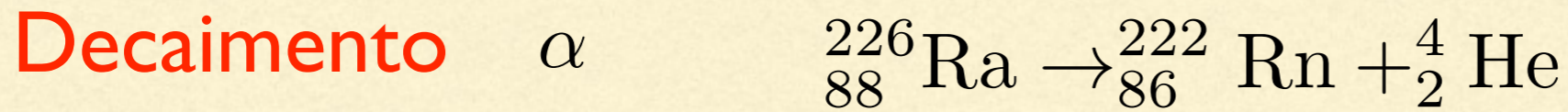
Massa neutron: 1,008665 u  $\times 2 = 2,017330$  u

Total final: 4,032980 u  $>$  Massa Helio: 4,002603 u

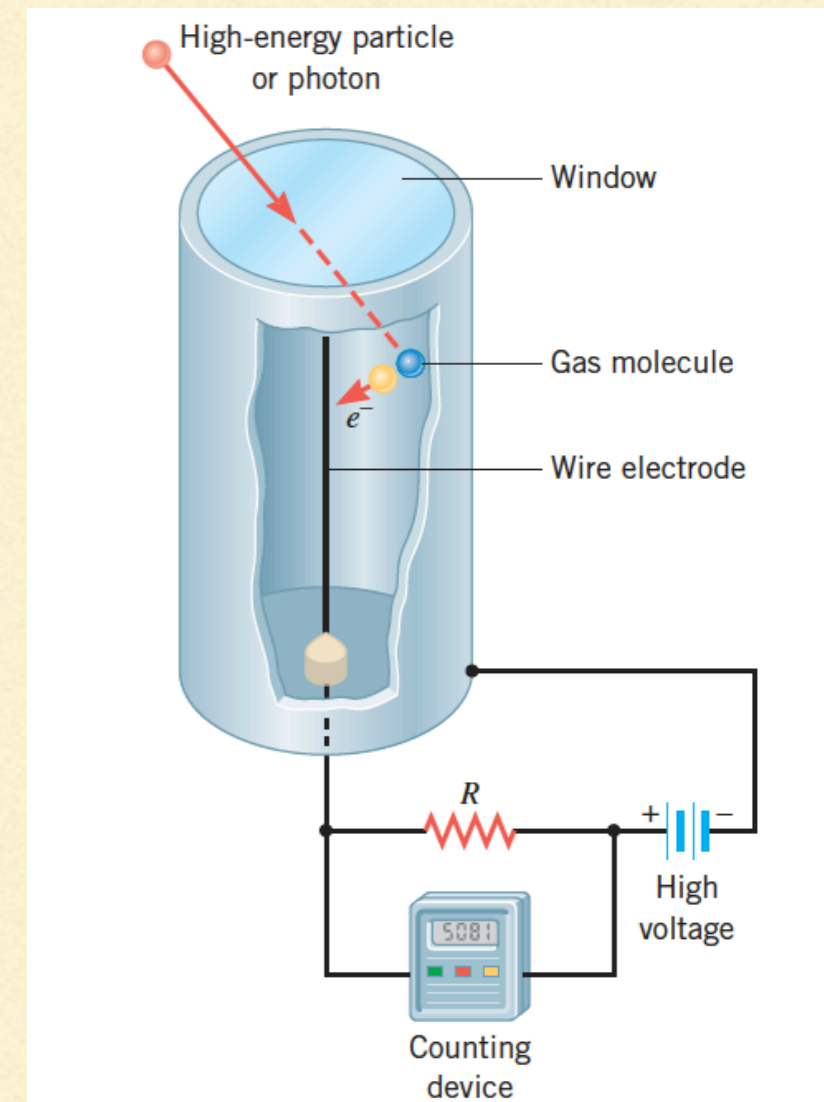
**Estável !!!**

---

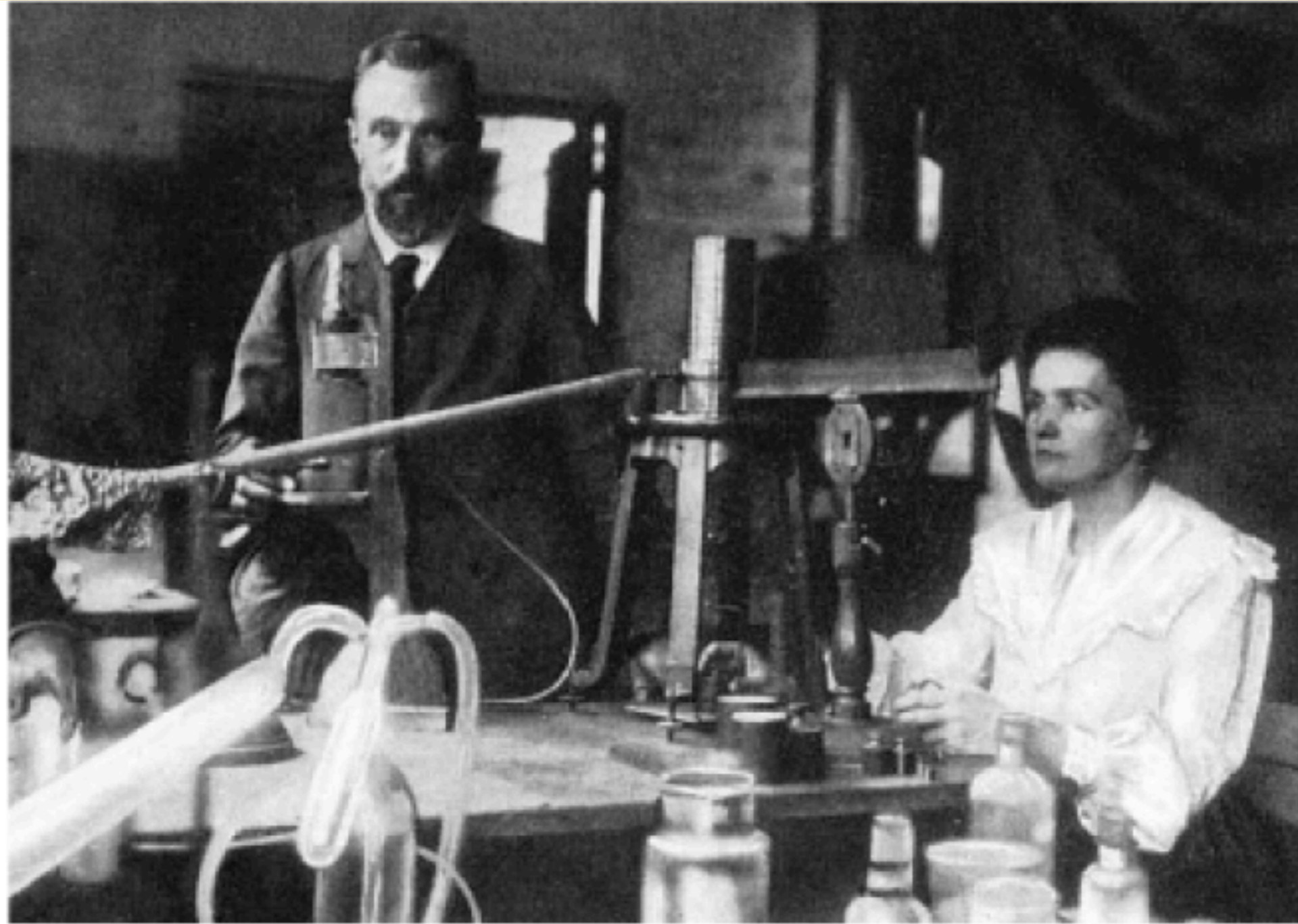
# RADIOATIVIDADE



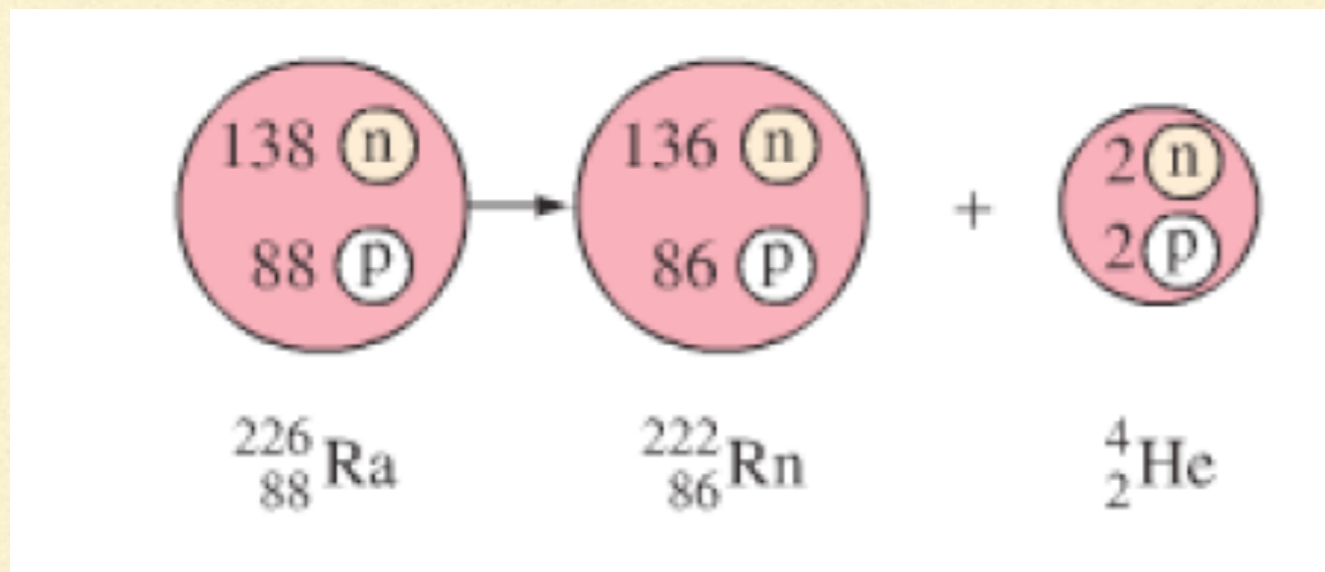
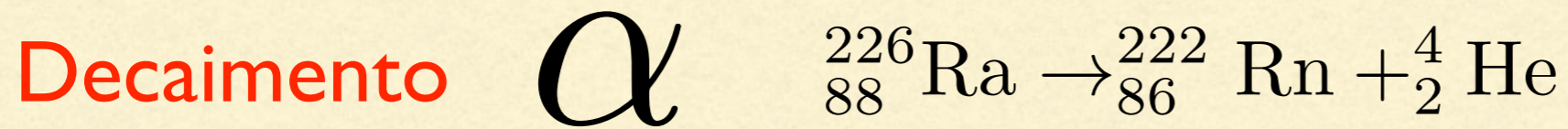
Contador Geiger:



# Curie e Joliot



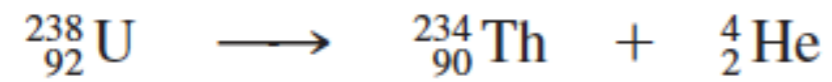
# RADIOATIVIDADE



$$Q = M_P c^2 - (M_D + m_\alpha) c^2$$

Testar se  $Q > 0$  ou  $Q < 0$

## Exemplo:



238.0508 u,      234.0436u    4.0026 u

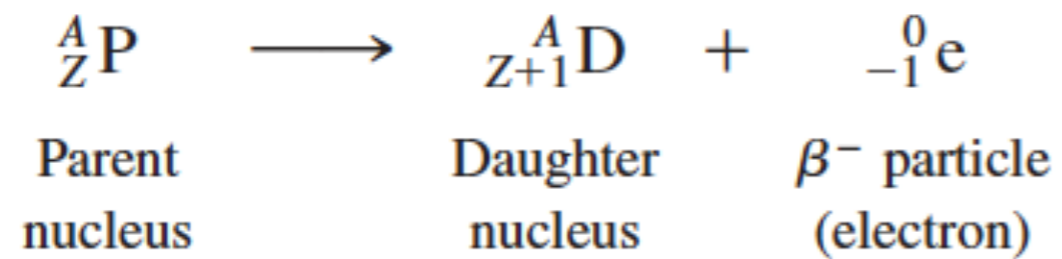
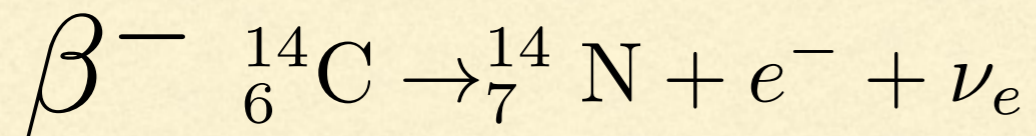
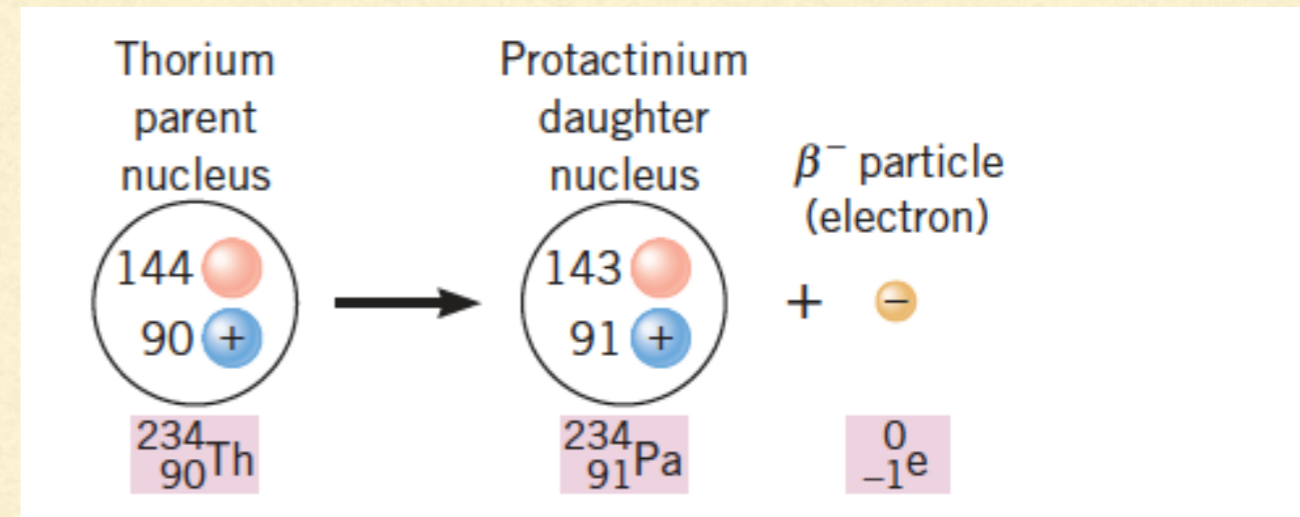
Este decaimento é possível?

$$Q = 238.0508\text{u} - (234.0436\text{u} + 4.0026\text{u}) = 0.0046\text{u} > 0$$

$$\text{Released energy} = (0.0046 \text{ u}) \left( \frac{931.5 \text{ MeV}}{1 \text{ u}} \right) = \boxed{4.3 \text{ MeV}}$$

# Decaimento $\beta$

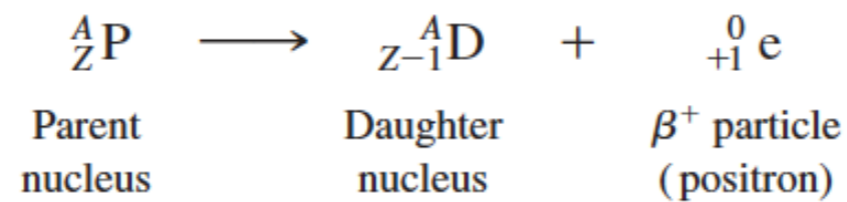
Existem dois decaimentos beta:  $\beta^-$  and  $\beta^+$



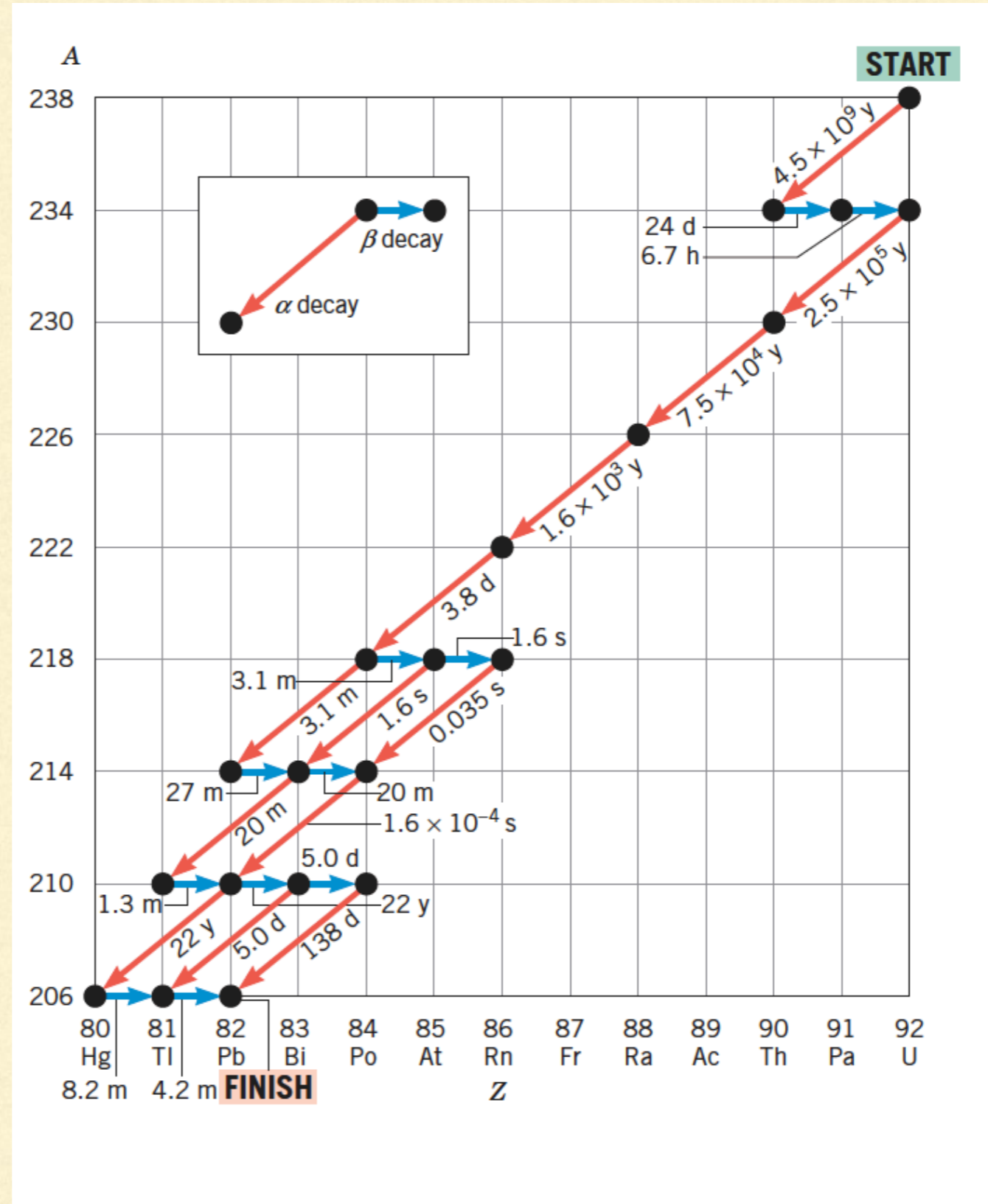
## Decaimento $\beta$



$\beta^+$  decay



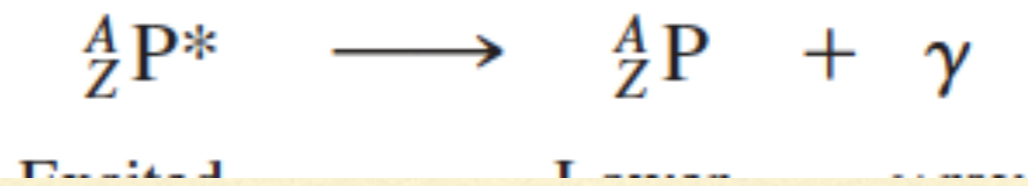
# Sequência de decaimentos radiativos.



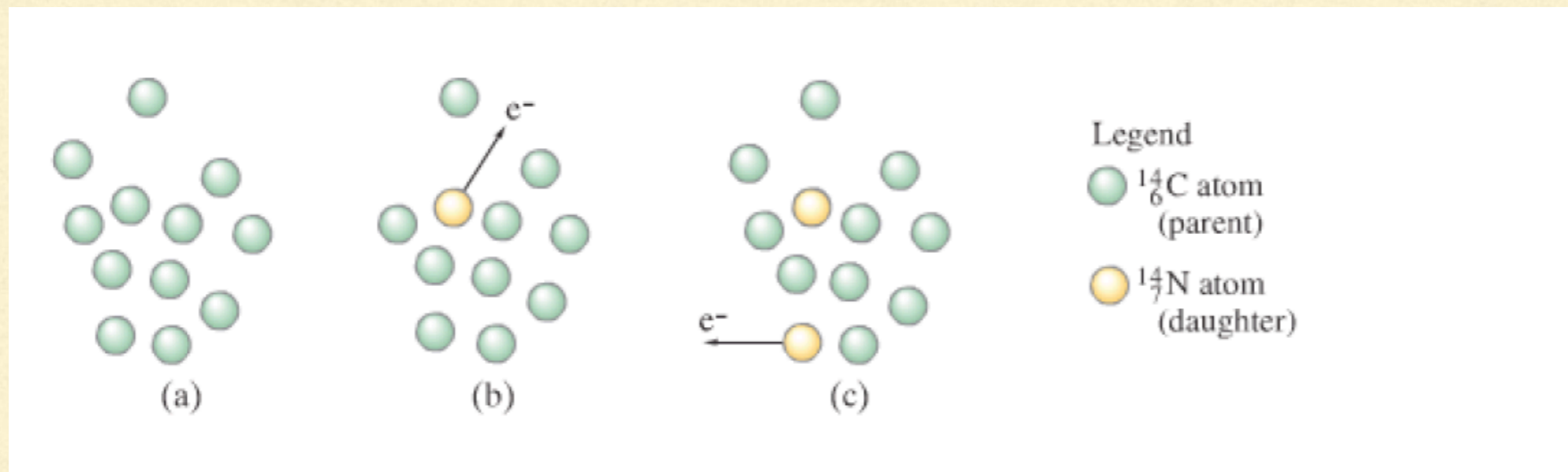


---

## Decaimento $\gamma$



# Tempo de vida e taxa de decaimento



$$\Delta N = -\lambda N \Delta t$$

**Lei de decaimento**

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \left( \frac{\Delta N}{\Delta t} \right)_0 e^{-\lambda t}$$

---

**Atividade**

$$\frac{\Delta N}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \left( \frac{\Delta N}{\Delta t} \right)_0 e^{-\lambda t}$$

A unidade da atividade é Becquerel: uma desintegração por segundo.

Outra unidade usada é Ci (Curie)

$$1 \text{ Ci} = 3.70 \times 10^{10} \text{ Bq}$$



Antoine Becquerel

---



Curie



Becquerel

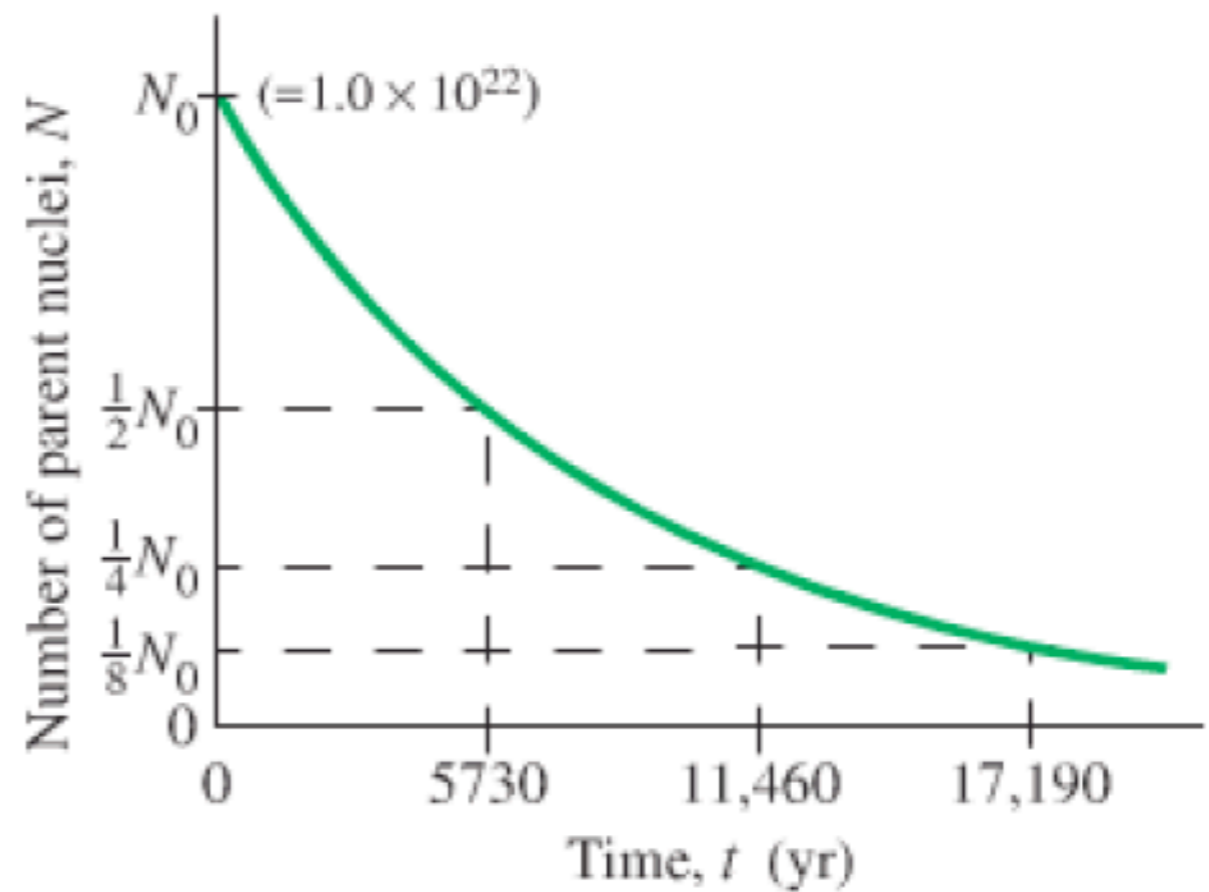
$$1 \text{ Ci} = 3.70 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

## Meia vida

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

**Tempo necessário para que a quantidade de material decai a metade.**

${}^{14}_6\text{C}$  tem meia vida 5730 anos



## Exemplos de meia-vida de átomos.

**Table 31.2** Some Half-Lives for Radioactive Decay

Isotope		Half-Life
Polonium	${}^{214}_{84}\text{Po}$	$1.64 \times 10^{-4} \text{ s}$
Krypton	${}^{89}_{36}\text{Kr}$	3.16 min
Radon	${}^{222}_{86}\text{Rn}$	3.83 d
Strontium	${}^{90}_{38}\text{Sr}$	29.1 yr
Radium	${}^{226}_{88}\text{Ra}$	$1.6 \times 10^3 \text{ yr}$
Carbon	${}^{14}_6\text{C}$	$5.73 \times 10^3 \text{ yr}$
Uranium	${}^{238}_{92}\text{U}$	$4.47 \times 10^9 \text{ yr}$
Indium	${}^{115}_{49}\text{In}$	$4.41 \times 10^{14} \text{ yr}$

---

## Exemplo:

Assuma que  $3.0 \times 10^7$  átomos de radônio ficarem presos no assoalho de uma casa.

O radônio tem uma meia-vida  $T_{1/2} = 3.83 \text{ dias} = 3.31 \times 10^5 \text{ s}$

(a) Quantos radônio sobrevivem depois de 31 dias?

(b) Ache a atividade quando o assoalho foi feito.

(c) Ache a atividade ao final dos 31 dias.

---

<b>H</b> 1 1.00794	Atomic number Atomic mass
<b>Li</b> 3 6.941	<b>Be</b> 4 9.01218
<b>Na</b> 11 22.9898	<b>Mg</b> 12 24.305

Número de átomos por mol

$$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Número de partículas por mol

$$n = \frac{N}{N_A}$$

Número de partículas por mol

$$n = \frac{m_{\text{particle}} N}{m_{\text{particle}} N_A} = \frac{m}{\text{Mass per mole}}$$

A massa de uma partícula em gramas

$$m_{\text{particle}} = \frac{\text{Mass per mole}}{N_A}$$



---

## Datação Radioativa:

Radioatividade : Datação de amostras geológicas.

Quando **vivo**, existe um átomo de  ${}^{14}_6\text{C}$  para cada  $8.3 \times 10^{11}$  átomos de  ${}^{12}_6\text{C}$

Quando o organismo **morre** não existe mais uma fonte de  ${}^{14}_6\text{C}$  e este começa a decair.

---

# Fontes naturais e artificiais de radiação

## Radionuclídeos provenientes do cosmo

Nuclídeo	Símbolo	Meia-vida	Fonte	Atividade natural
Carbono-14	$^{14}\text{C}$	5730 anos	Interações entre raios cósmicos, $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$	0,22 Bq / g
Tritio	$^3\text{H}$	12,3 anos	Interações dos raios cósmicos com N e O; fragmentação dos raios cósmicos, $^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$	$1,2 \times 10^{-3}$ Bq / kg
Berílio-7	$^7\text{Be}$	53,28 dias	Interações dos raios cósmicos com N e O	0,01 Bq / kg

Fonte : Notas de aula de Edmilson Manganote de FI07.:

## Radionuclídeos naturais de origem terrestre

Nuclídeo	Símbolo	Meia-vida	Atividade natural
Urânio-235	$^{235}\text{U}$	$7,04 \times 10^8$ anos	48.000 Bq / tonelada de rocha
Urânio-238	$^{238}\text{U}$	$4,47 \times 10^9$ anos	2.300 Bq / tonelada de rocha
Tório-232	$^{232}\text{Th}$	$1,41 \times 10^{10}$ anos	6.500 a 80.000 Bq / tonelada de rocha
Rádio-226	$^{226}\text{Ra}$	$1,60 \times 10^3$ anos	16 Bq / kg em pedras calcárias e 48 Bq / kg em rochas ígneas ou magmáticas.
Radônio-222	$^{222}\text{Rn}$	3,82 dias	Gás nobre cuja concentração média anual no ar varia, dependendo do local, de $0,6 \text{ Bq/m}^3$ a $28 \text{ Bq/m}^3$
Potássio-40	$^{40}\text{K}$	$1,28 \times 10^9$ anos	0,037 a 1,1 Bq / g de solo

Fonte : Notas de aula de Edmilson Manganote de FI07.:

## Materiais radioativos produzidos artificialmente

<b>Nuclídeo</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Meia-vida</b>
Iodo-131	$^{131}\text{I}$	8,04 dias
Cobalto-60	$^{60}\text{Co}$	5,27 anos
Césio-137	$^{137}\text{Cs}$	30,17 anos
Estrôncio-90	$^{90}\text{Sr}$	28,78 anos
Tecnécio-99	$^{99}\text{Tc}$	$2,11 \times 10^5$ anos
Plutônio-239	$^{239}\text{Pu}$	$2,41 \times 10^4$ anos

Fonte : Notas de aula de Edmilson Manganote de FI07.:

---

# Unidades de radiação

## Exposição (X)

Os raios X ou gama, ao interagir com os átomos de um meio, produzem elétrons ou pares  $e^-e^+$ . A exposição X é uma grandeza física definida para esses raios, tendo o ar como meio de interação.

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

Unidade de Exposição (Roentgen):

$$1R = 2,58 \times 10^{-4} \frac{C}{kg}$$

Fonte : Notas de aula de Edmilson Manganote de F107.:

---

## Dose Absorvida (D)

As mudanças químicas e biológicas que ocorrem, por exemplo, no tecido exposto à radiação X, dependem da energia absorvida pelo mesmo. A Dose Absorvida será:

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

Energia absorvida da radiação

Pela massa  $m$  do absorvedor

Unidades:

ICRU – 1950 a 1975  
Radiation Absorbed Dose

$$1rad = 100 \frac{erg}{g} = 10^{-2} \frac{J}{kg}$$

ICRU – após 1975 - Gray

$$1Gy = 1 \frac{J}{kg} = 100rad$$

Fonte : Notas de aula de Edmilson Manganote de F107.:

## Dose Equivalente (H)

Os efeitos químicos e biológicos que ocorrem num meio exposto à radiação dependem não só da energia absorvida pelo meio, mas também do tipo de radiação incidente e da distribuição da energia absorvida

$$H = D \cdot Q \cdot N$$

**Fator de Qualidade (Q)** leva em conta que a radiação que produz maior número de ionização no tecido, por unidade de comprimento, causa maior dano biológico.

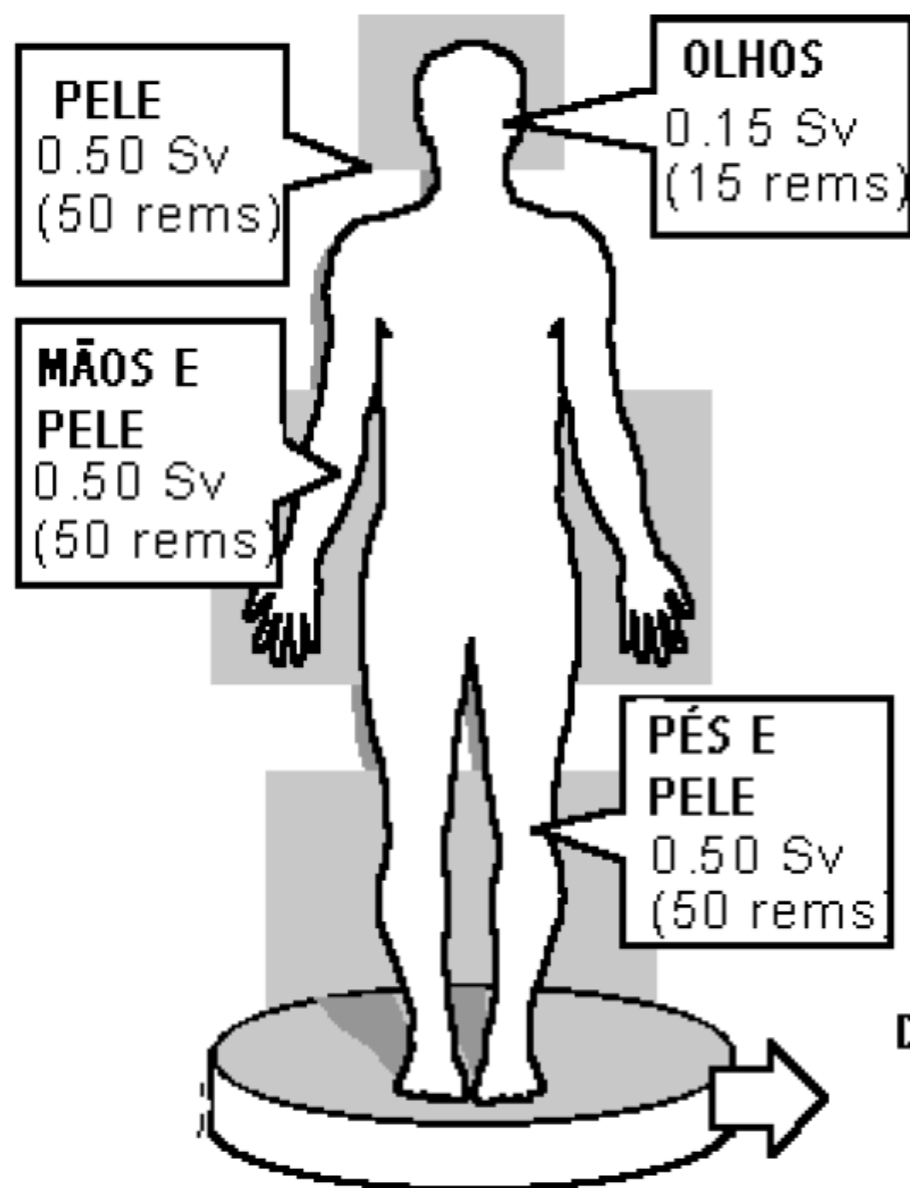
**Fator de Modificação (N)** é o produto de todos os outros fatores de modificação especificados pela ICRP relacionados com a ionização no meio em análise

Até 1975, roentgen equivalent man (rem)  $\longrightarrow$   $1rem = 1rad \times Q \times N$

A partir de 1975  $\longrightarrow$   $1sievert = 1gray \times Q \times N$

Para fótons  $Q=N=1$

$1Sv = 1Gy = 100rem$



## LIMITE ANUAL MÁXIMO ADMISSÍVEL PARA TRABALHADORES COM RADIAÇÃO

DOSE EQUIVALENTE EFETIVA TOTAL - DEET  
CORPO INTEIRO - 0,05 Sv ou 5 rems



**Table 32.2** Average Biologically Equivalent Doses of Radiation Received by a U. S. Citizen<sup>a</sup>

Source of Radiation	Biologically Equivalent Dose (mrem/yr) <sup>b</sup>
<i>Natural background radiation</i>	
Cosmic rays	33
Radioactive earth and air	21
Internal radioactive nuclei	29
Inhaled radon	207
<i>Human-made radiation</i>	
Consumer products	13
CAT scanning	147
Routine medical/dental diagnostics	33
Nuclear medicine	74

$$H = D \cdot Q \cdot N$$

<b>Tipo de Radiação</b>	<b>Valor de Q</b>
Raios X, $\gamma$ , $\beta$ e elétrons	1
Nêutrons rápidos e prótons	10
Partícula $\alpha$ e íons pesados	20

# Efeitos Biológicos

Há muitos anos verificou-se que as radiações ionizantes produzem danos biológicos nos seres vivos. Os primeiros casos de dano ao homem (dermatites, perda de cabelo, anemia) foram relatados na literatura logo após a descoberta dos raios X.

Os efeitos biológicos produzidos pela ação das radiações ionizantes no organismo humano são resultantes da interação dessas radiações com os átomos e as moléculas do corpo. Nessa interação, o primeiro fenômeno que ocorre é físico e consiste na ionização e na excitação dos átomos, resultante da troca de energia entre a radiação e a matéria.

A seguir aparecem os fenômenos bioquímicos e fisiológicos. Após um intervalo de tempo variável aparecem as lesões observáveis, que podem ser no nível celular ou no nível do organismo como um todo.

Um dos processos mais importantes de interação da radiação no organismo humano é com as moléculas de água. Quando a radiação interage com as moléculas de água do organismo humano, essas moléculas se quebram formando uma série de produtos danosos ao organismo, como os radicais livres e a água oxigenada.

---

# Características Gerais dos Efeitos Biológicos

## Especificidade

Os efeitos biológicos das radiações ionizantes podem ser provocados por outras causas que não as radiações, isto é, não são característicos ou específicos das radiações ionizante. Outros agentes físicos, químicos ou biológicos podem causar os mesmos efeitos. Exemplo: O câncer é um tipo de efeito que pode ser causado tanto pelas radiações ionizantes como por outros agentes.

## Tempo de latência

É o tempo que decorre entre o momento da irradiação e o aparecimento de um dano biológico visível. No caso da dose de radiação ser alta, esse tempo é muito curto. Os danos decorrentes da exposição crônica, doses baixas com tempo de exposição longo, podem apresentar tempos de latência da ordem de dezenas de anos. O tempo de latência é inversamente proporcional à dose.

---

---

# Características Gerais dos Efeitos Biológicos

## Reversibilidade

Os efeitos biológicos causados pelas radiações ionizantes podem ser reversíveis. A reversibilidade de um efeito dependerá do tipo de célula afetada e da possibilidade de restauração desta célula. Existem, porém, os danos irreversíveis como o câncer e as necroses.

## Transmissibilidade

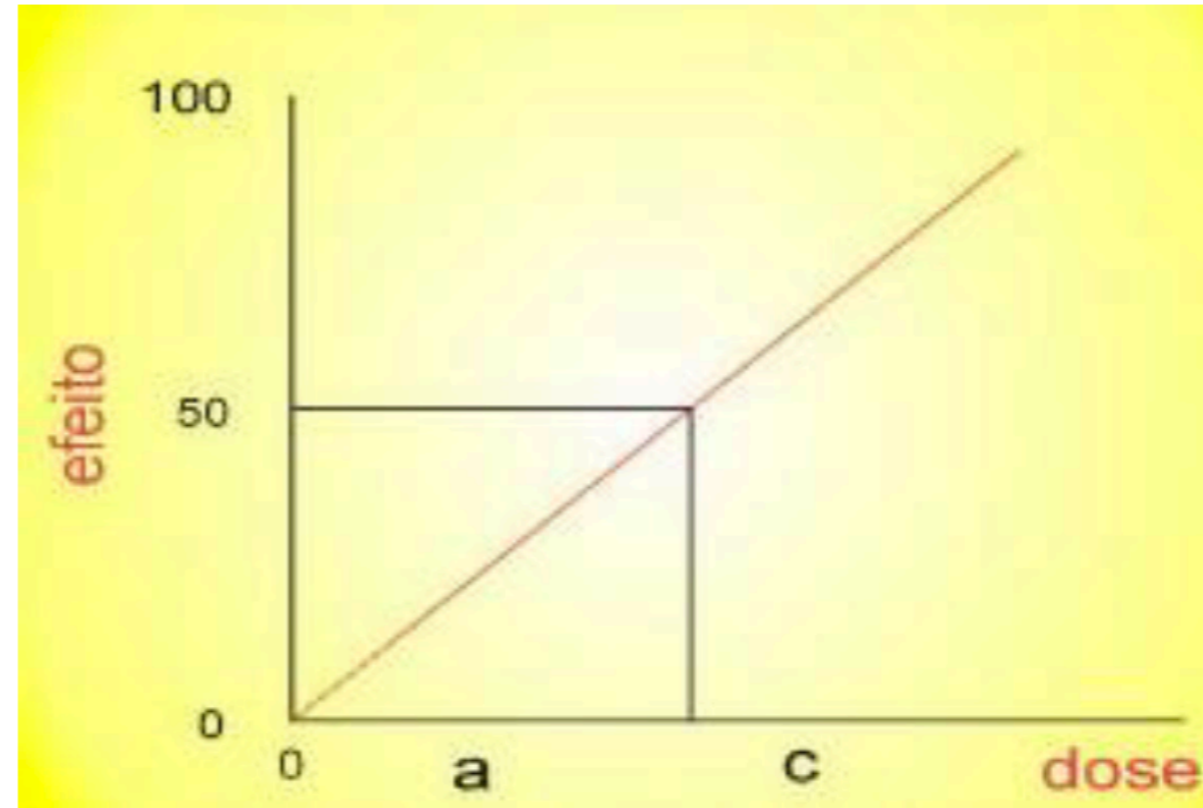
A maior parte das alterações causadas pelas radiações ionizantes que afetam uma célula ou um organismo não são transmitidos a outras células ou outros organismos. Devemos, porém, citar os danos causados ao material genético das células dos ovários e dos testículos. Esses danos podem ser transmitidos hereditariamente por meio da reprodução.

---

# Classificação dos Efeitos Biológicos

## Efeitos Estocásticos

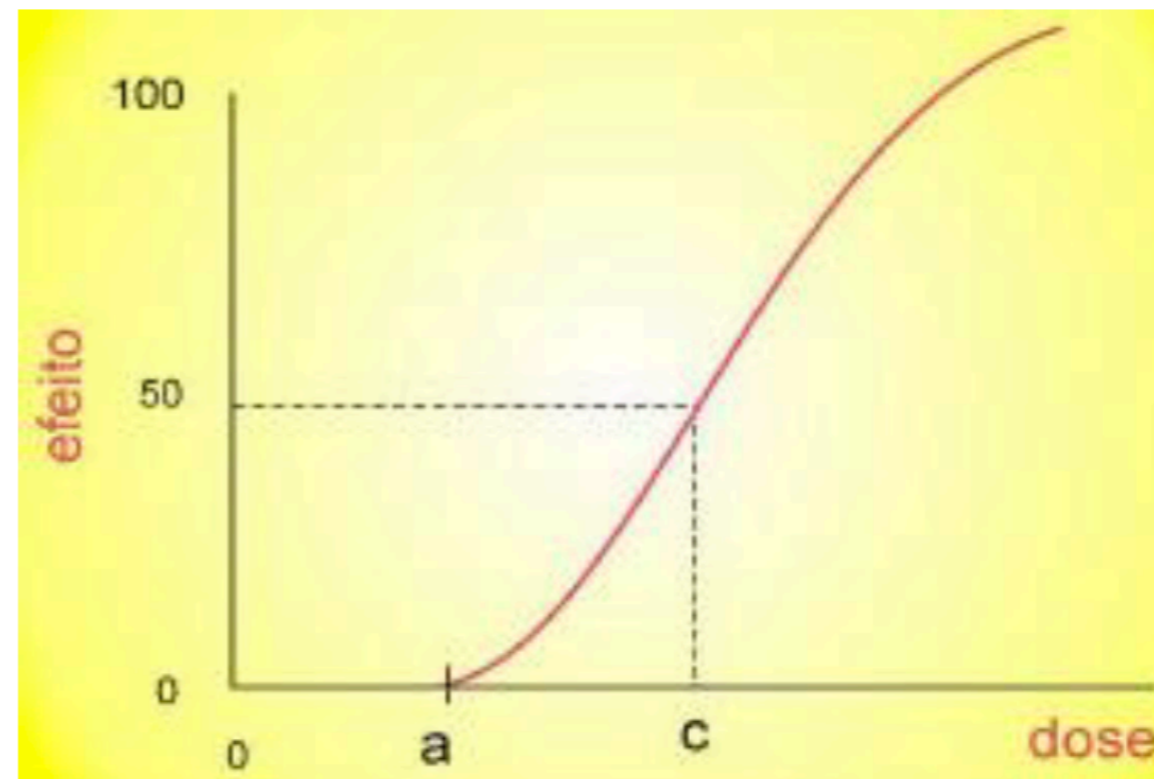
Os efeitos estocásticos são aqueles para os quais a probabilidade de ocorrência é função da dose, não apresentando dose limiar. Como exemplo podemos citar o câncer e os efeitos hereditários. A curva característica deste tipo de efeito é mostrada na figura ao lado.



# Classificação dos Efeitos Biológicos

## Efeitos Determinísticos

Os efeitos determinísticos são aqueles cuja gravidade aumenta com o aumento da dose e para os quais existe um limiar de dose, como exemplo podemos citar a anemia, a catarata, as radiodermites etc. A curva característica deste tipo de efeito é mostrada na figura ao lado.



# Efeitos Biológicos

## **Efeitos somáticos**

Surgem do dano nas células do corpo e o efeito aparece na própria pessoa irradiada. Dependem da dose absorvida, da taxa de absorção da energia da radiação, da região e da área do corpo irradiada.

## **Efeitos genéticos ou hereditários**

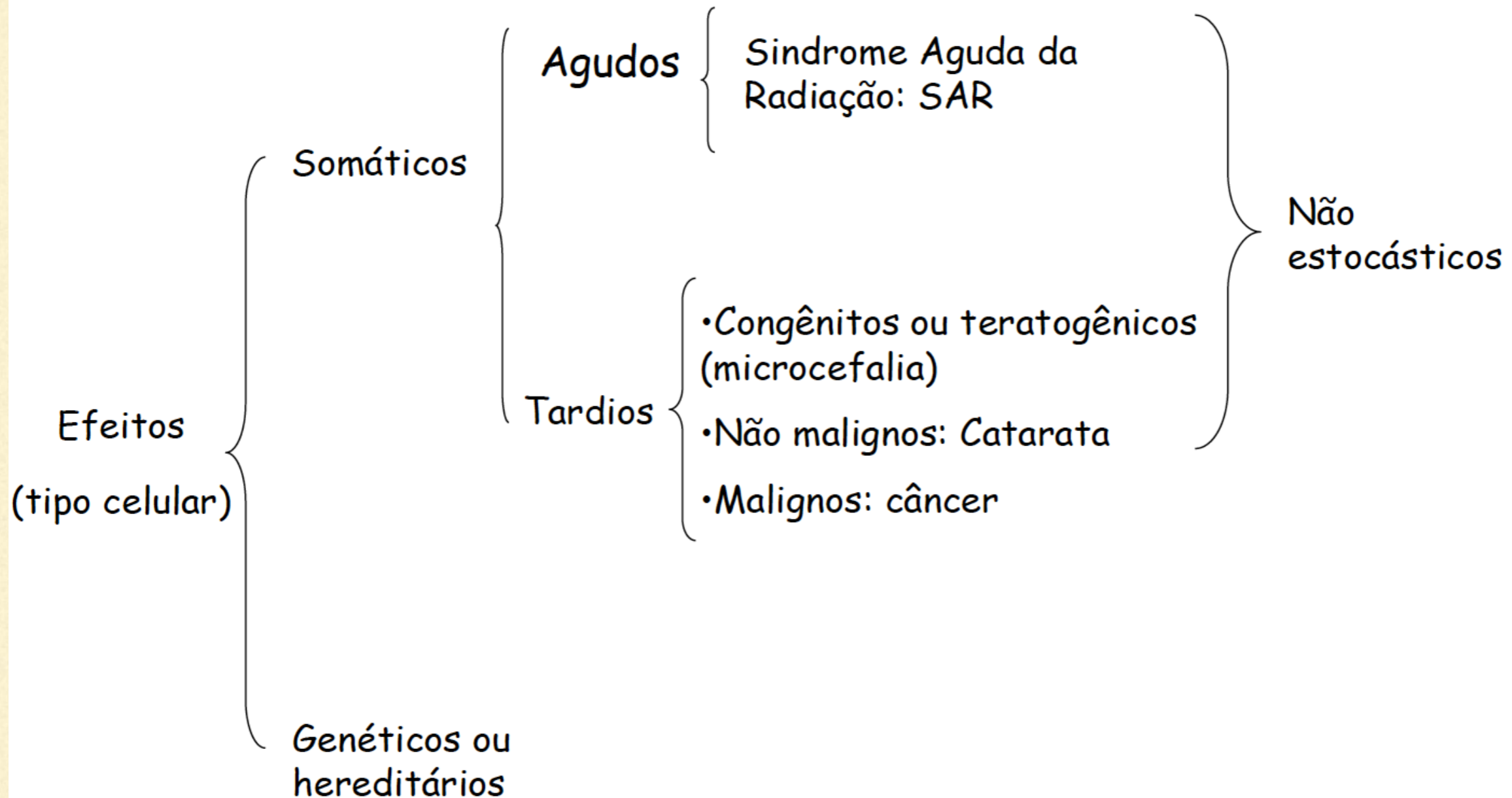
São efeitos que surgem no descendente da pessoa irradiada, como resultado do dano produzido pela radiação em células dos órgãos reprodutores, as gônadas. Têm caráter cumulativo e independe da taxa de absorção da dose.

## **Efeitos imediatos e tardios**

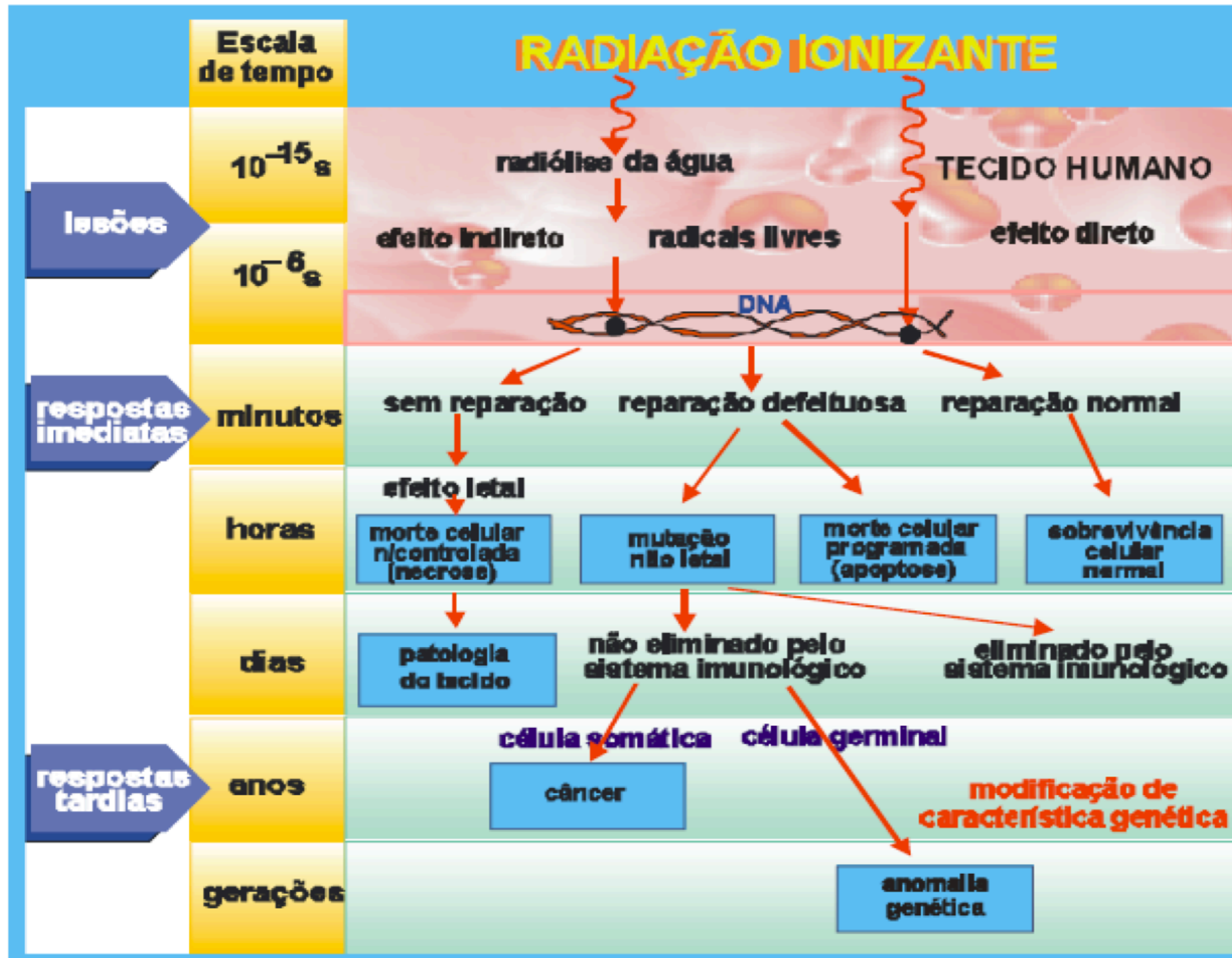
Os primeiros efeitos biológicos causados pela radiação, que ocorrem num período de poucas horas até algumas semanas após a exposição, são denominados de efeitos imediatos, como por exemplo, a radiodermite. Os que aparecem depois de anos ou mesmo décadas, são chamados de efeitos retardados ou tardios, como por exemplo, o câncer.



# Efeitos da radiação Ionizante

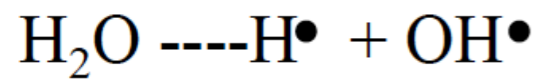


# Efeitos Biológicos



# O mecanismo de dano

Mecanismo Indireto



E

→ excitação  
→ ionização  
10<sup>14</sup> células

Mecanismo Direto

DNA alvo 10<sup>5</sup> genes

DNA lesado 10<sup>-6</sup> mutações / gene / divisão celular

reparo correto

DNA restaurado

célula normal

não reparo

DNA mutado

reparo errôneo

célula mutada viável

morte celular

apoptose

célula somática

célula germinativa

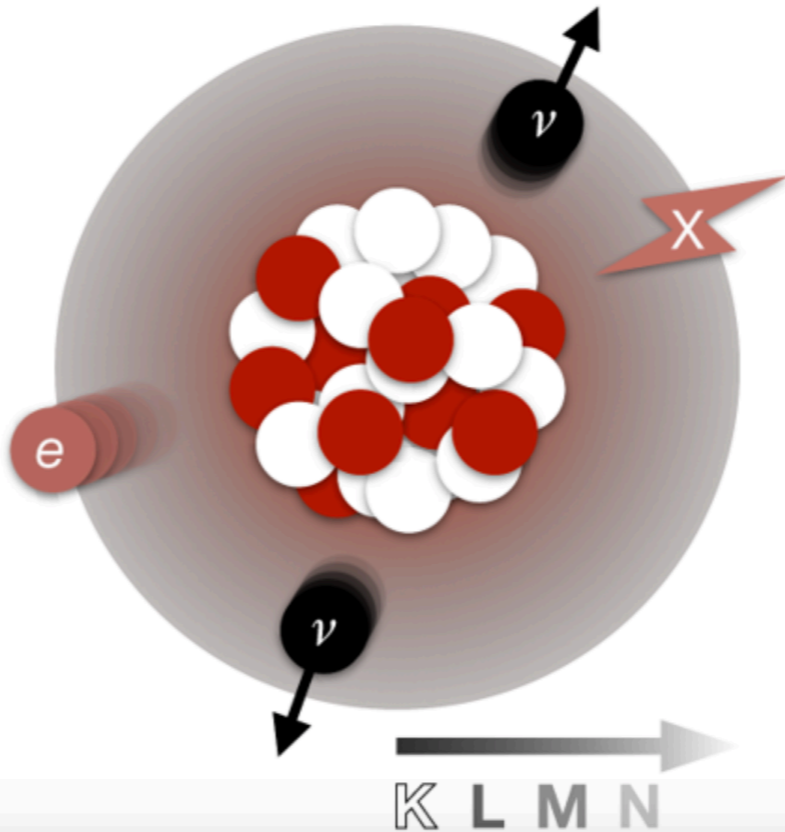
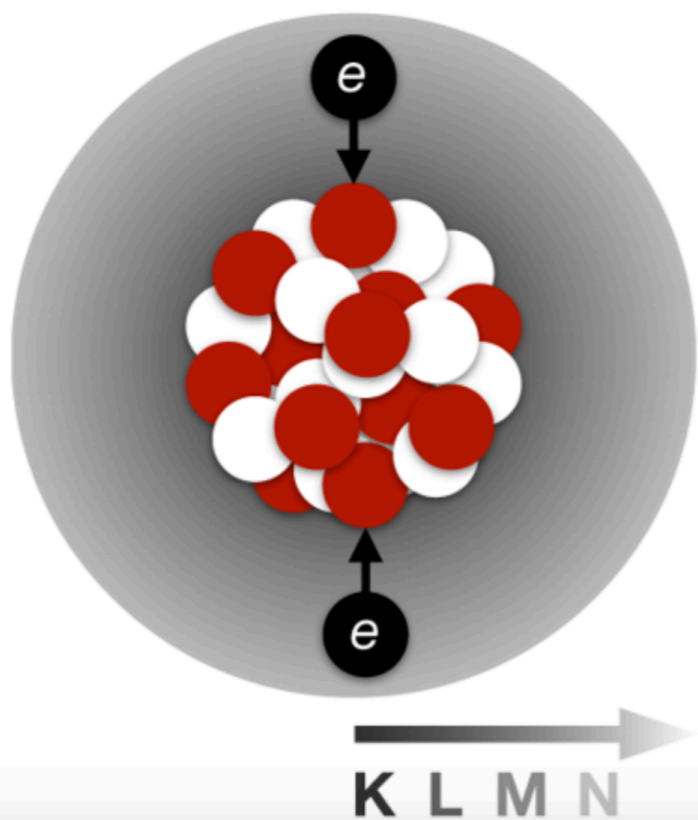
Catarata  
Malformações  
Síndromes da radiação

Diminuição da longevidade  
Envelhecimento precoce  
Indução do câncer

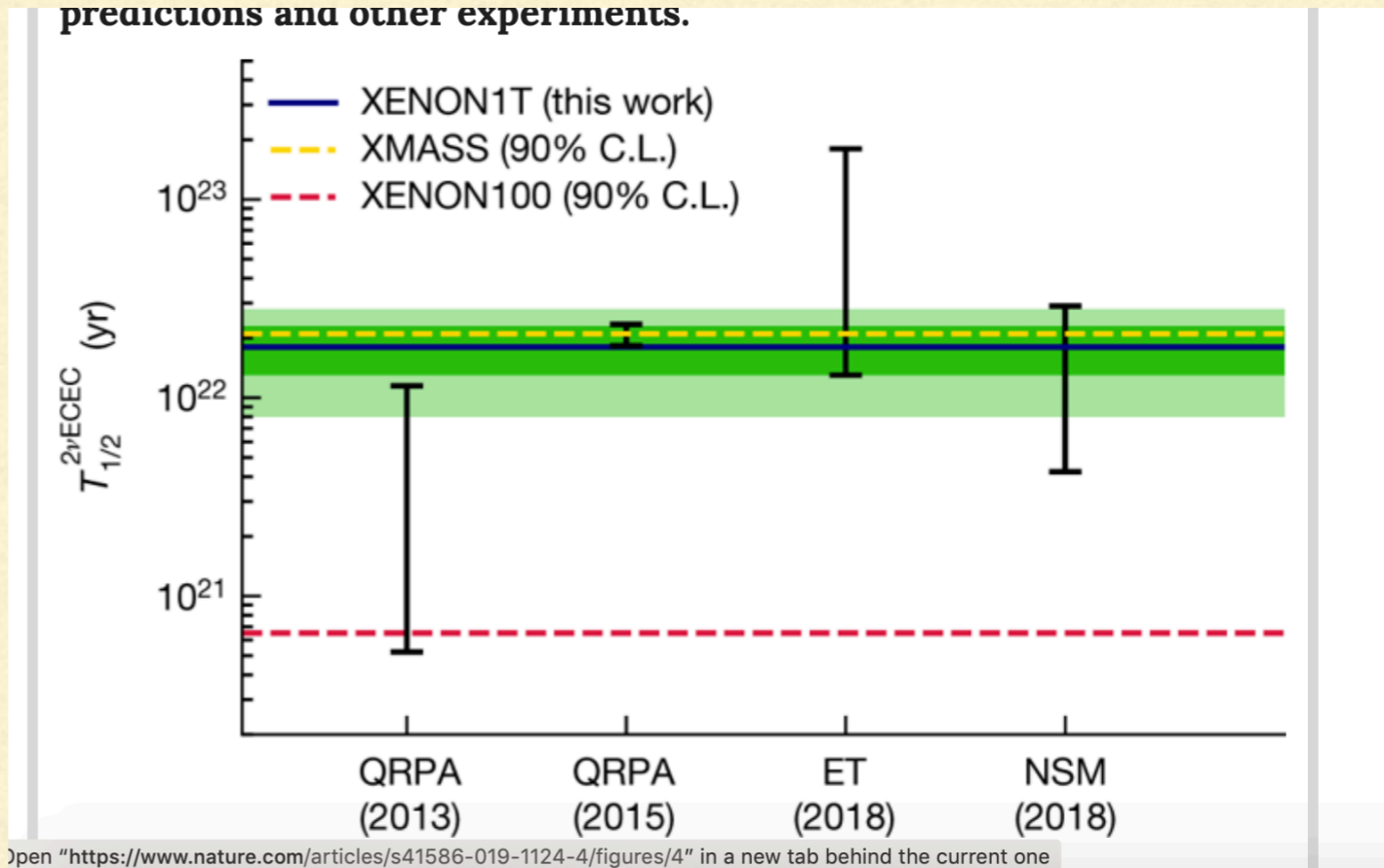
Doenças hereditárias (transmissíveis)

efeitos determinísticos

efeitos estocásticos

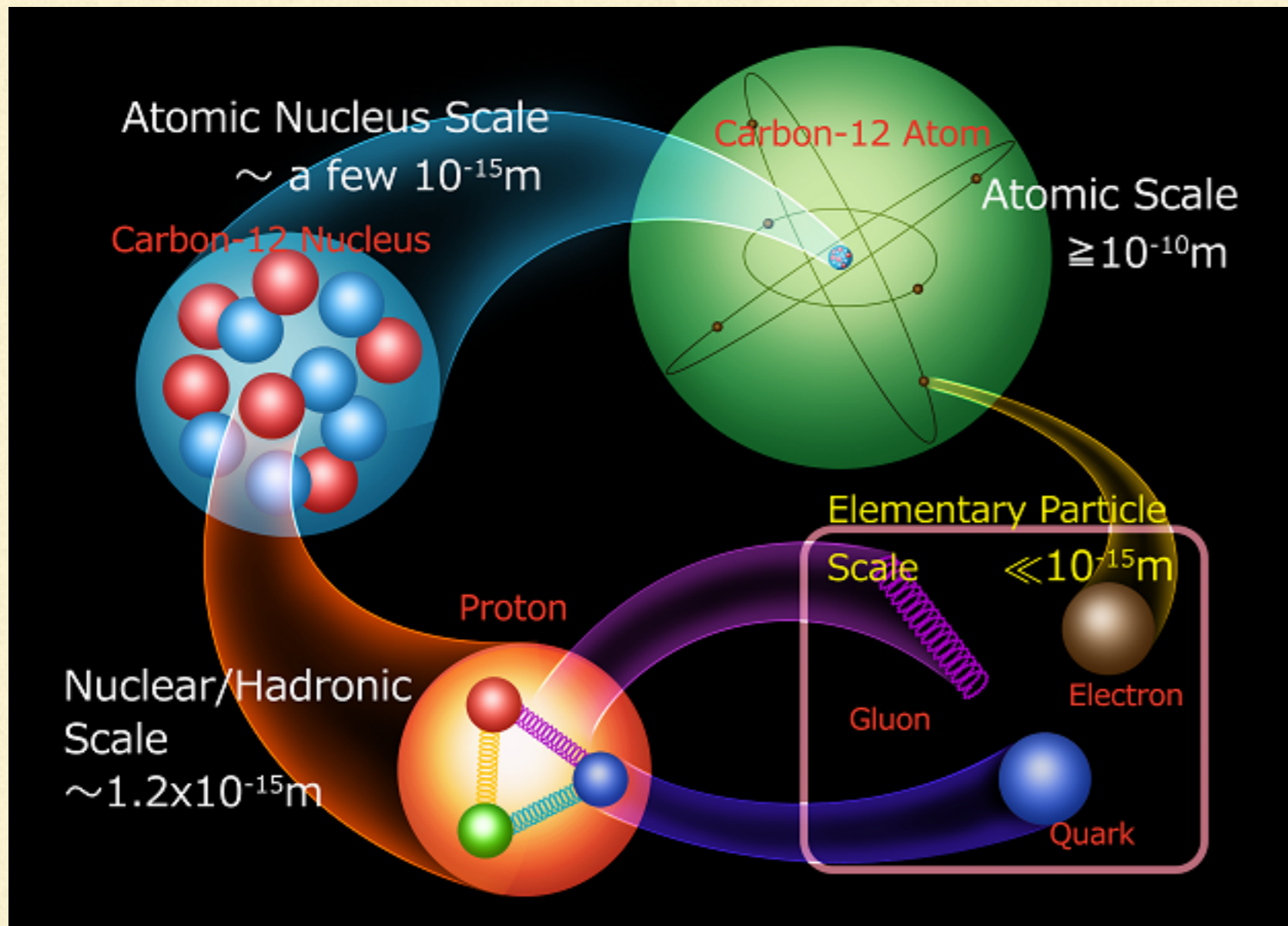


predictions and other experiments.



Open <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1124-4/figures/4> in a new tab behind the current one

# PARTICULAS ELEMENTARES



# PARTICULAS ELEMENTARES II

Three generations of matter (fermions)

	I	II	III	
mass	2.4 MeV/c <sup>2</sup>	1.27 GeV/c <sup>2</sup>	171.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> photon
Quarks	4.8 MeV/c <sup>2</sup>	304 MeV/c <sup>2</sup>	4.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluon
Leptons	< 2.2 eV/c <sup>2</sup>	< 0.17 MeV/c <sup>2</sup>	< 15.5 MeV/c <sup>2</sup>	91.2 GeV/c <sup>2</sup>
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>Z<sup>0</sup></b> Z boson
	0.511 MeV/c <sup>2</sup>	105.7 MeV/c <sup>2</sup>	1.777 GeV/c <sup>2</sup>	80.4 GeV/c <sup>2</sup>
	-1	-1	-1	$\pm 1$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>W<sup>±</sup></b> W boson

Gauge bosons