

Universidade Federal do ABC

# Estrutura da Matéria

Natureza Elétrica da Matéria

Radioatividade

<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/Estrutura.html>

# Histórico - Eletricidade

Paralelamente à teoria dos gases, se desenvolviam estudos sobre **fenômenos elétricos**.

O nome **elétron** vem do grego e significa **âmbar**, uma resina amarela-castanho estudada pelos gregos antigos.

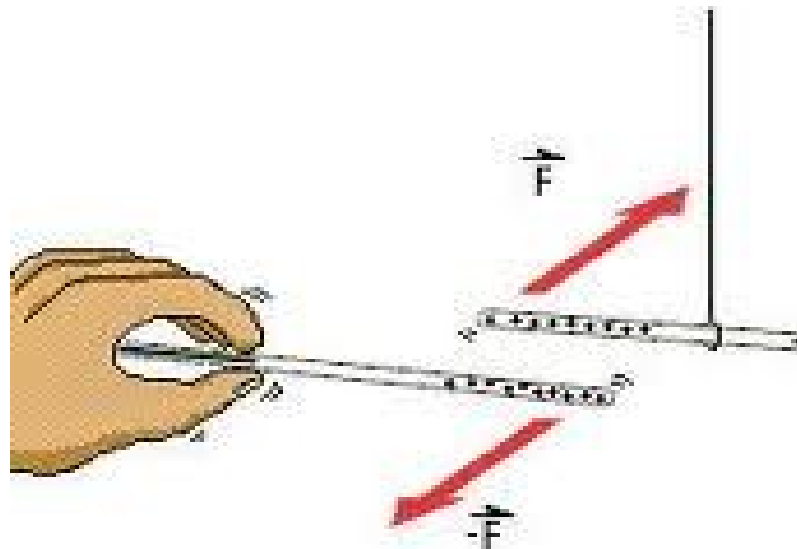
Eles descobriram que **esfregando** o **âmbar** em um **tecido** ele **atraia** pequenos pedaços de **matéria**, como um pedaço de palha (Tales de Mileto). Esse efeito ficou conhecido como efeito âmbar e por 2000 anos ele foi um mistério.



# Histórico - Eletricidade

Ao **friccionar** um bastão a uma **estopa** vemos que ele **atrai** um pedacinho de **papel**.

Se dois **bastões** forem **friccionadas** por um tecido de **seda**, vemos que eles **repelem** entre si porém **atraem** o **tecido**.



# Histórico - Eletricidade

Hoje sabemos que a **fricção** pode dar origem ao aparecimento de **cargas elétricas positivas** ou **negativas** nos materiais.

Cargas do **mesmo sinal** se **repelem**,



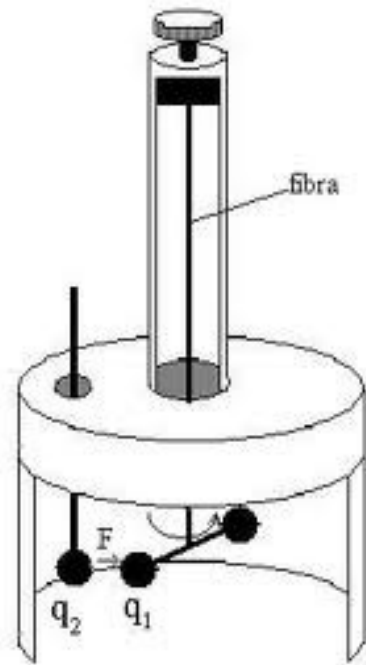
e cargas de **sinais opostos** se **atraem**.



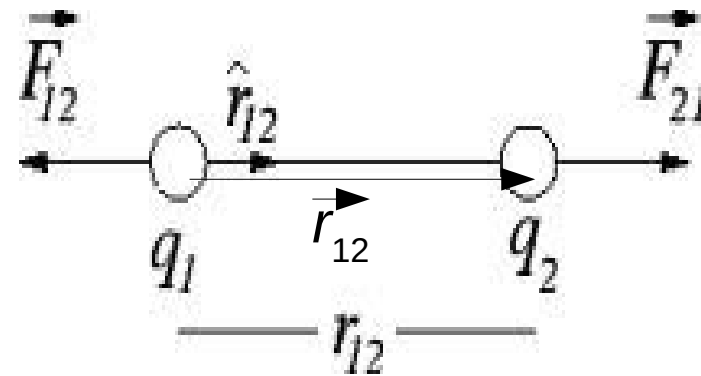
A unidade de carga elétrica no SI é o **Coulomb**.

# Histórico - Eletricidade

Em 1783, **Coulomb** determinou uma expressão para a **força elétrica** no seu experimento de torção:

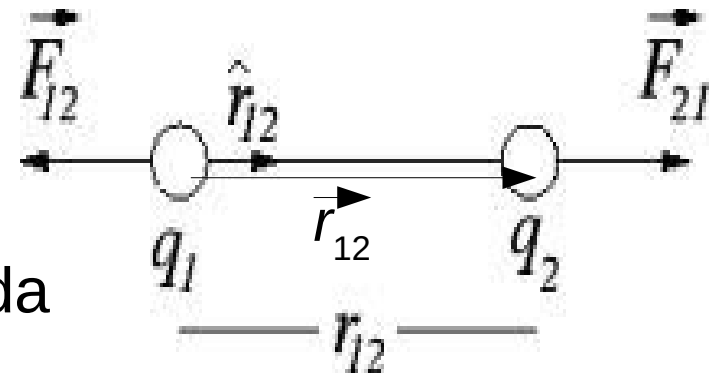


Charles Augustin de Coulomb (1736-1806)



# Histórico - Eletricidade

Sendo  $q_1$  e  $q_2$  as duas cargas,  $\vec{r}_{12}$  o vetor apontando da carga 1 pra 2, com módulo  $r_{12}$ , e  $\hat{r}_{12}$  o vetor unidade na mesma direção, então a força exercida pela carga  $q_2$  sobre a carga  $q_1$  será:



$$\begin{aligned}\vec{F}_{12} &= -q_1 q_2 \hat{r}_{12} / 4\pi\epsilon_0 r_{12}^2 = -kq_1 q_2 \hat{r}_{12} / r_{12}^2 \\ &= -q_1 q_2 \vec{r}_{12} / 4\pi\epsilon_0 r_{12}^3 = -kq_1 q_2 \vec{r}_{12} / r_{12}^3\end{aligned}$$

(e  $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$ ), onde

$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$  = permissividade elétrica do vácuo,

$k = 1/4\pi\epsilon_0 = 8.988 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$  = constante de Coulomb ou de força elétrica ou eletrostática.

=> **inversamente proporcional** ao **quadrado** da **distância**, **atrativa** para **cargas do mesmo sinal** e **repulsiva** para cargas de **sinal oposto** (como deve ser).

# Histórico - Eletricidade

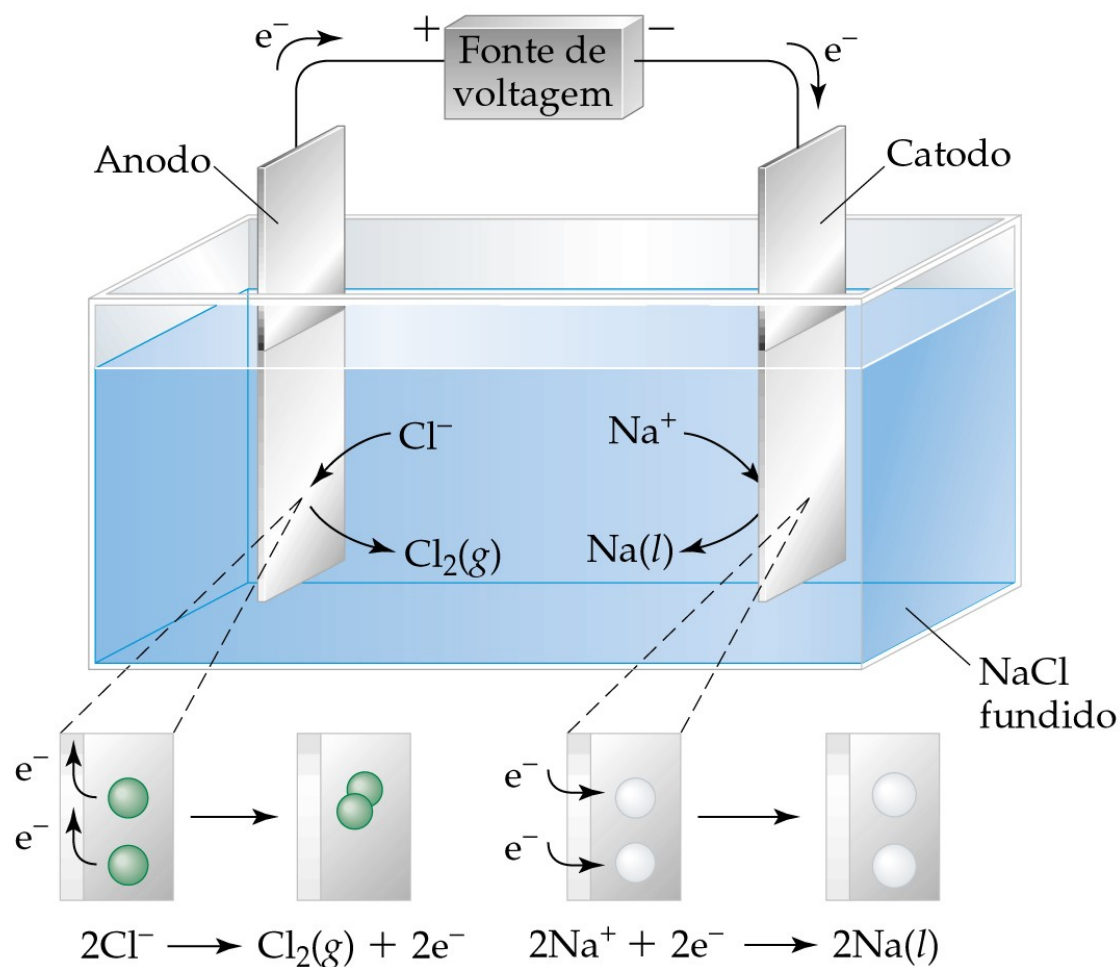
- **Faraday** foi o primeiro a desenvolver uma **teoria quantitativa** sobre **fenômenos elétricos**:  
1834: Estudo quantitativo de **eletrólise**, através do qual surgiu a ideia da **eletricidade** associada aos **átomos**.

=> “Átomos de eletricidade”



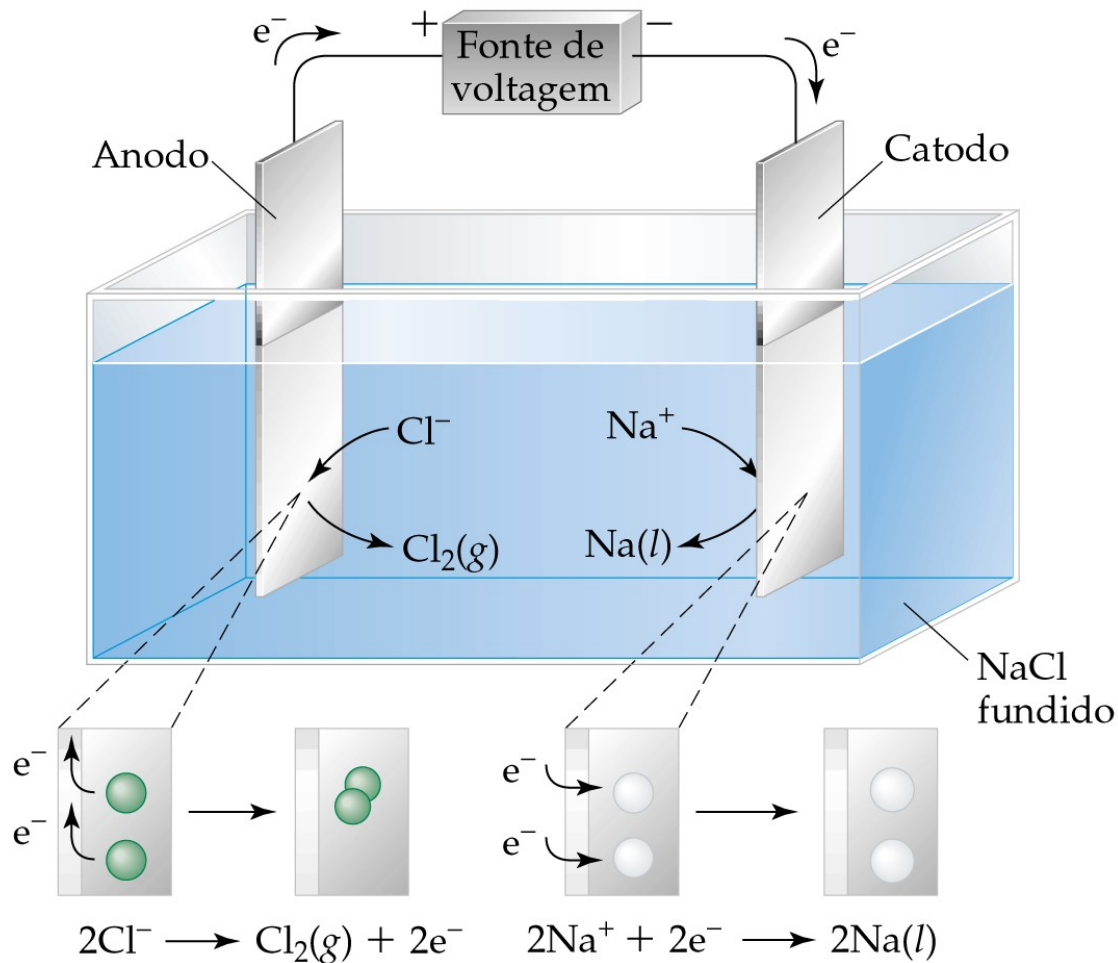
Michael Faraday, 1791–1867

# Eletrólise



Quando se coloca dois **eletrodos** dentro de uma **solução** de **sal** de cozinha ( $\text{NaCl}$ ) em **água**, **sódio** ( $\text{Na}$ ) é produzido no eletrodo negativo, o **catodo**, gás de **cloro** ( $\text{Cl}_2$ ) é formado no eletrodo positivo, o **anodo**, e **corrente** flui do catodo pra fonte de voltagem, e da fonte pro anodo.

# Eletrólise



A **quantidade** de sódio produzida no catodo é **proporcional** à **corrente** que flui do catodo pra fonte;

A **quantidade** de gás de **cloro** formado no anodo é **proporcional** á **corrente** que flui da fonte pro anodo.

# Eletrólise

- 1 F (Faraday) = 96 500 C
- Ao passar corrente totalizando a carga de 1 F pela solução de NaCl, se formam:
  - 23 g de Na no catodo (= 1 mol de Na)
  - 35.5 g de Cl no anodo (= 1 mol de Cl = 0.5 mol de Cl<sub>2</sub>)
- $1 F = N_A \cdot e$  é a carga de “1 mol de átomos de eletricidade”  
=> Possibilita calcular  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  C

# Eletrólise



**Michael Faraday, 1791–1867**

Lei de Faraday para a eletrólise:  
A quantidade de produto formado ou do reagente consumido por uma corrente elétrica é estequiometricamente equivalente à quantidade de elétrons fornecidos.

O número de átomos/moléculas produzidas e/ou consumidas por uma reação química causada por uma corrente elétrica é igual ao número de elétrons constituindo a corrente.

# Eletrólise

Através da **eletrólise** de **elementos**, pode-se medir a **massa molar** dos elementos, a massa do **montante** do elemento formado por **1 F** de **corrente**.

Observa-se que estas são muito pertas de **múltiplos inteiros** da **massa molar** de **hidrogênio**.

TABLEAU DES ÉQUIVALENTS DES CORPS SIMPLES.

Aluminium . . . . .	12,7	Molybdène . . . . .	48
Antimoine . . . . .	122	Nickel . . . . .	29,5
Argent . . . . .	108	Niobium . . . . .	48,8
Arsenic . . . . .	75	Or . . . . .	197
Azote . . . . .	14	Osmium . . . . .	99,6
Barium . . . . .	68,5	Oxygène . . . . .	8
Bismuth . . . . .	210	Palladium . . . . .	53,3
Bore . . . . .	10,9	Phosphore . . . . .	31
Brome . . . . .	80	Platine . . . . .	98,7
Cadmium . . . . .	56	Plomb . . . . .	103,5
Calcium . . . . .	20	Potassium . . . . .	39,1
Carbone . . . . .	6	Rhodium . . . . .	52,2
Cérium . . . . .	46	Rubidium . . . . .	85,4
Césium . . . . .	130	Ruthénium . . . . .	52,2
Chlore . . . . .	35,5	Sélénium . . . . .	39,7
Chrome . . . . .	26,7	Silicium . . . . .	14
Cobalt . . . . .	29,5	Sodium . . . . .	23
Cuivre . . . . .	31,7	Soufre . . . . .	16
Didymium . . . . .	48	Strontium . . . . .	43,8
Etain . . . . .	59	Tantale . . . . .	68,8
Fer . . . . .	28	Tellure . . . . .	64
Fluor . . . . .	19	Thallium . . . . .	204
Glucinium . . . . .	4,7	Thorium . . . . .	59,6
Hydrogène . . . . .	1	Titane . . . . .	25
Iode . . . . .	127	Tungstène . . . . .	92
Iridium . . . . .	99	Uranium . . . . .	60
Lanthane . . . . .	46,4	Vanadium . . . . .	68,6
Lithium . . . . .	7	Yttrium . . . . .	?
Magnésium . . . . .	12	Zinc . . . . .	32,6
Manganèse . . . . .	27,5	Zirconium . . . . .	44,8
Mercure . . . . .	100		

# Eletrólise

Unidade de massa atômica:

1 **u** = 1/12 x a massa de um átomo de C-12  
=  $1.66 \cdot 10^{-27}$  kg  
~ a massa de 1 átomo de H-1.

A massa de um(a) átomo/molécula de uma substância em u é igual à massa molar da mesma substância em gramas (Já sabíamos).

TABLEAU DES ÉQUIVALENTS DES CORPS SIMPLES.

Aluminium . . . . .	13,7	Molybdène . . . . .	48
Antimoine . . . . .	122	Nickel . . . . .	29,5
Argent . . . . .	108	Niobium . . . . .	48,8
Arsenic . . . . .	75	Or . . . . .	197
Azote . . . . .	14	Osmium . . . . .	99,6
Barium . . . . .	68,5	Oxygène . . . . .	8
Bismuth . . . . .	210	Palladium . . . . .	53,3
Bore . . . . .	10,9	Phosphore . . . . .	31
Brome . . . . .	80	Platine . . . . .	98,7
Cadmium . . . . .	56	Plomb . . . . .	103,5
Calcium . . . . .	20	Potassium . . . . .	39,1
Carbone . . . . .	6	Rhodium . . . . .	52,2
Cérium . . . . .	46	Rubidium . . . . .	85,4
Césium . . . . .	130	Ruthénium . . . . .	52,2
Chlore . . . . .	35,5	Sélénium . . . . .	39,7
Chrome . . . . .	26,7	Silicium . . . . .	14
Cobalt . . . . .	29,5	Sodium . . . . .	23
Cuivre . . . . .	31,7	Soufre . . . . .	16
Didymium . . . . .	48	Strontium . . . . .	43,8
Etain . . . . .	59	Tantale . . . . .	68,8
Fer . . . . .	28	Tellure . . . . .	64
Fluor . . . . .	19	Thallium . . . . .	204
Glucinium . . . . .	4,7	Thorium . . . . .	59,6
Hydrogène . . . . .	1	Titane . . . . .	25
Iode . . . . .	127	Tungstène . . . . .	92
Iridium . . . . .	99	Uranium . . . . .	60
Lanthane . . . . .	46,4	Vanadium . . . . .	68,6
Lithium . . . . .	7	Yttrium . . . . .	?
Magnésium . . . . .	12	Zinc . . . . .	32,6
Manganèse . . . . .	27,5	Zirconium . . . . .	44,8
Mercure . . . . .	100		

# Eletrólise

O sueco **Svant August Arrhenius** (1877): Estabeleceu a **teoria iônica** ao estudar as leis da eletrólise de Faraday.

Arrhenius propôs que o açúcar ou o sal se **dividem** em **moléculas menores** quando estão em **solução** de água.

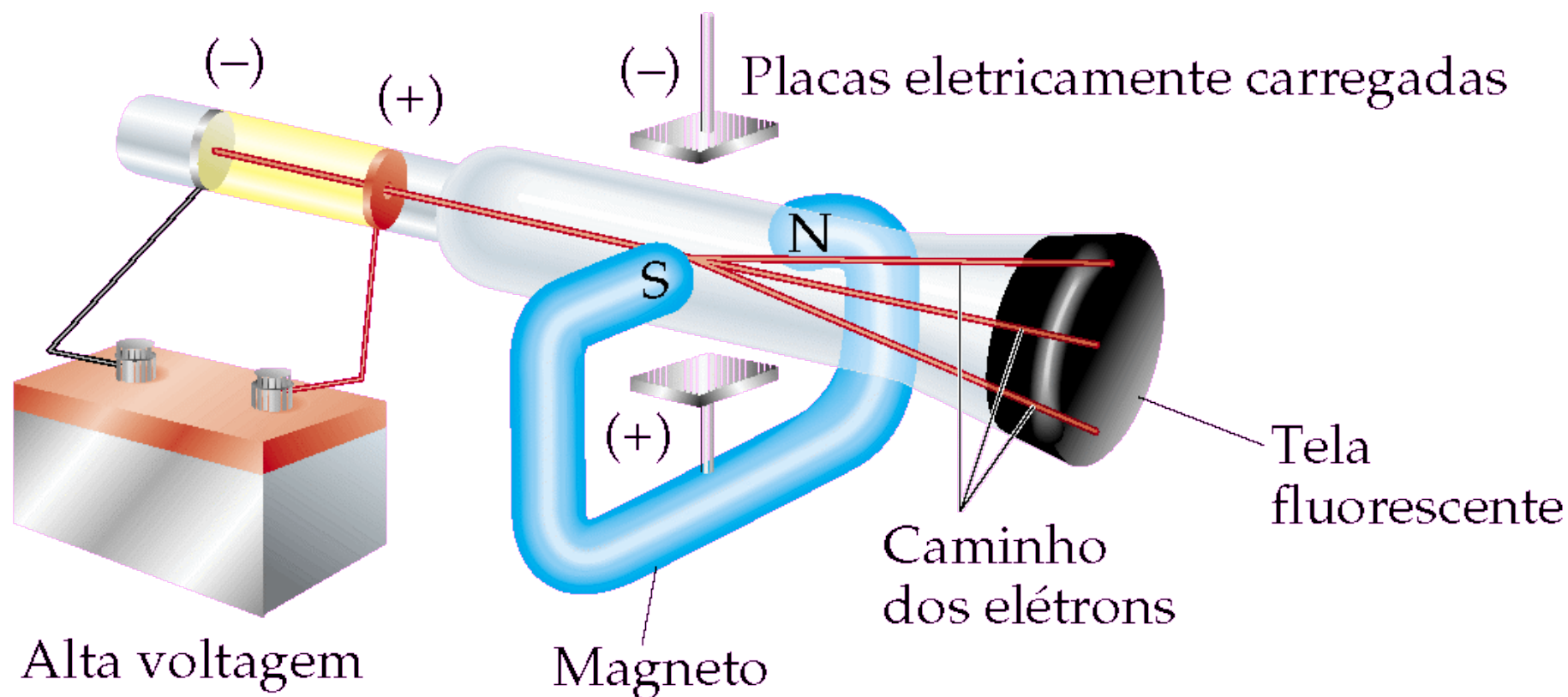
Na **dissociação** do **sal** as moléculas são chamados de **íons**:

carregadas **positivamente**, **cátions**,  
e **negativamente**, **ânions**  
(também já conhecemos).



# A descoberta da estrutura atômica

Em 1897, J. J. Thomson observou que os **raios emitidos** em **altas voltagens**, os “raios catódicos” (descobertos por Geissler (1859) e estudados por Goldstein e Crookes), são **defletidos** em **campos elétricos** e **magnéticos**.



=> Os “raios catódicos” consistem de **partículas carregadas!**  
**Descoberta do primeiro constituinte dos átomos, o elétron.**

# A descoberta da estrutura atômica

## Raios catódicos e elétrons

A **voltagem** faz com que **partículas negativas** se **desloquem** do **eletrodo negativo** para o eletrodo **positivo**.

=> Primeiro **acelerador** de **partículas**!

Considere os raios catódicos saindo do eletrodo positivo através de um pequeno orifício.

Se eles **interagirem** com um **campo magnético** perpendicular a um **campo elétrico** aplicado, os raios catódicos podem sofrer **diferentes desvios**.

EM: Força de Lorentz:  $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{E} + q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B} = q \cdot (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$   
onde  $q$  = carga da partícula (=  $-e$ ),  $\mathbf{v}$  = sua velocidade (vetor),  
 $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{B}$  = os campos elétrico e magnético defletores (vetores).

# A descoberta da estrutura atômica

## Raios catódicos e elétrons

**Aceleração** que causa o desvio, perpendicular à direção do raio:

$$\mathbf{a} = \mathbf{F}/m = q/m \cdot (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

$m$  = massa da partícula ( $= m_e$ )

=> O **desvio** depende da **razão  $q/m$**

Thomson determinou que a proporção carga-massa de um elétron é  $-1,76 \cdot 10^8$  C/g.

Em muitos experimentos na época se media  $q/m$ .

**Objetivo:** **encontrar** a **carga** do **elétron** para determinar sua **massa** (ou vice-versa).

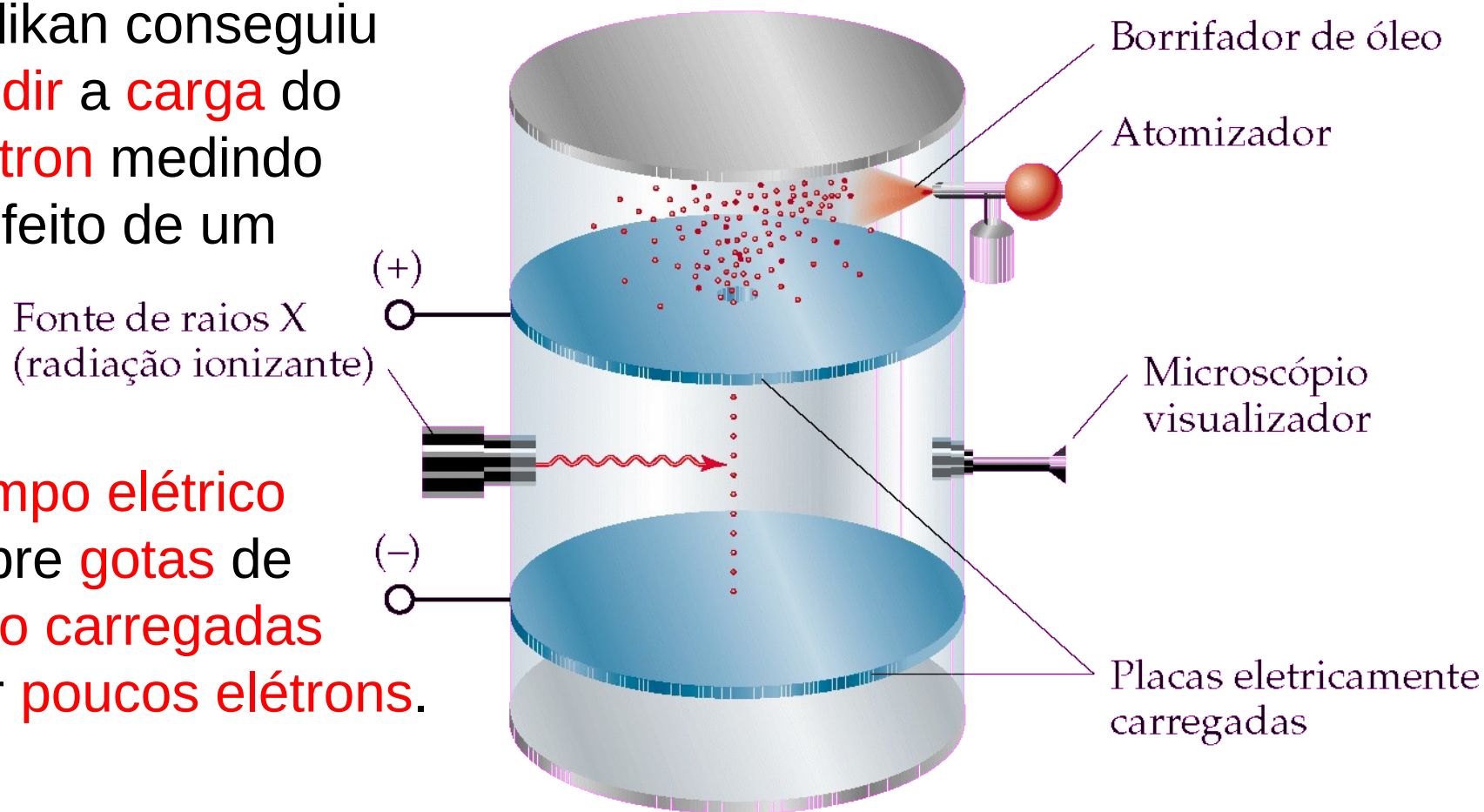
(As medidas de Thomson já indicavam que a massa do elétron era cerca de 2000 vezes menor do que a massa do átomo de H.)

# A descoberta da estrutura atômica

## Experiência de Millikan: A carga do elétron

1911: Neste experimento, Millikan conseguiu **medir a carga do elétron** medindo o efeito de um

**campo elétrico** sobre **gotas de óleo carregadas** por **poucos elétrons**.



# A descoberta da estrutura atômica

## Experiência de Millikan: A carga do elétron

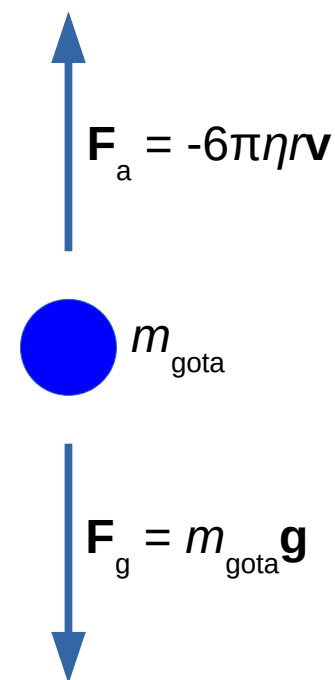
As gotas eram carregadas e descarregadas durante o experimento através de um feixe de raios-X.

Desta maneira foi possível **carregar** as **gotas** por **poucos elétrons**.

Através da **fricção** das gotas com o **gás** na câmara com o **campo elétrico desligado**, Millikan conseguiu medir os seus **diâmetros** e (pela densidade conhecida) as suas **massas**.

$F_a$  é a força da **fricção** sobre uma gota de raio  $r$  e com **velocidade**  $v$  dentro de um gás com **viscosidade**  $\eta$ .

Sem campo



# A descoberta da estrutura atômica

## Experiência de Millikan: A carga do elétron

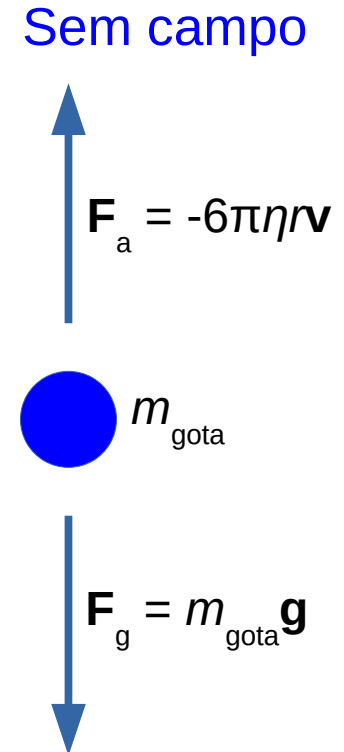
Igualando a força da **fricção** com a **gravidade**, obtém-se a **velocidade terminal** da gota:

$$v = \frac{mg}{6\pi\eta r} = \frac{4/3\rho r^2 g}{6\eta}$$

Medir  $v \Rightarrow$  determinação de  $m, r$ .

Quando a **carga** das gotas **mudava**, elas se **movimentavam** dentro do **campo elétrico**.

A **velocidade** que a partícula ganha é **proporcional** a sua **carga**.



# A descoberta da estrutura atômica

## Experiência de Millikan: A carga do elétron

**Ajustando** o **campo** de tal maneira, que uma gota “flutua”, ou seja, que a **gravidade** e a **força eletrostática** se anulam, pode-se **medir** a **carga** com precisão ainda melhor (forças pra cima são tidas como positivas):

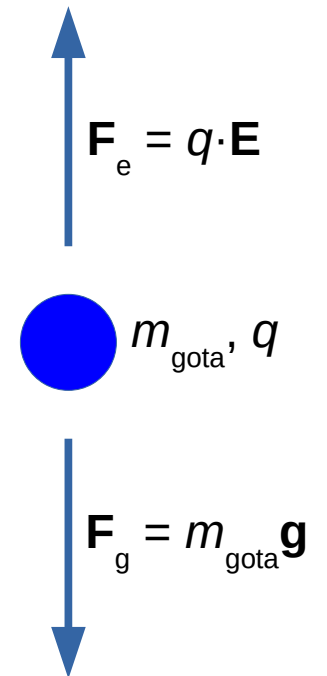
$$\text{Gravidade: } F_g = -m_{\text{gota}} g$$

$$\text{Força elétrica: } F_e = -q \cdot E$$

$$F_g + F_e = 0 \Rightarrow q = -m_{\text{gota}} g/E$$

As cargas ocorriam sempre em **múltiplos** (negativos) de uma **carga elementar**  $e$ .  $\Rightarrow$  **carga do elétron**

Com campo



# A descoberta da estrutura atômica

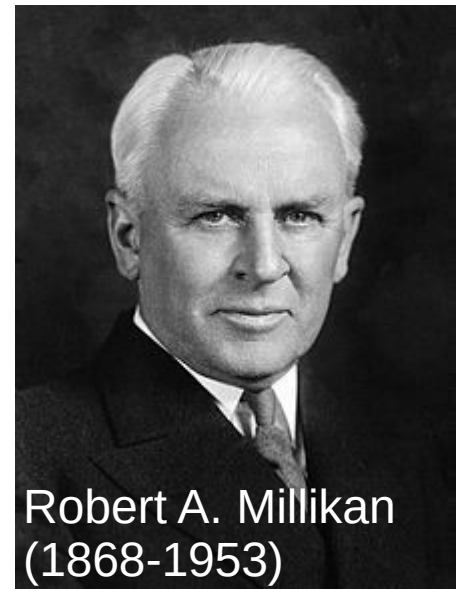
## Experiência de Millikan: A carga do elétron

Utilizando este experimento, Millikan determinou que a **carga do elétron** é  $-1,602 \cdot 10^{-19}$  C.

Conhecendo a proporção carga-massa,  $-1,76 \cdot 10^8$  C/g, Millikan calculou a **massa do elétron**:  $9,10 \cdot 10^{-28}$  g.

Com números mais exatos, concluimos que a massa do elétron é  $9,10939 \cdot 10^{-28}$  g.

=>  Prémio Nobel em 1923

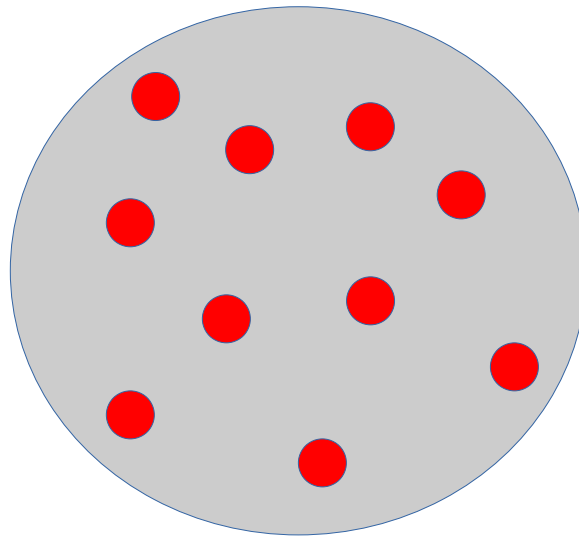


# Modelos atômicos após a descoberta do elétron

## O átomo de Thomson

### Pudim de ameixas (Plum Pudding)

A **massa** dos **átomos** era muito **maior** do que a soma das **massas** dos seus **elétrons**.



Uma **distribuição uniforme** dos **elétrons** no mar de massa e carga positiva garantia o **equilíbrio**.

=> Átomos {  
Elétrons (cargas negativas)  
Mar de massa e carga positiva

# A Descoberta do Próton

Rutherford verificou que um tipo de **radiação** originária do **hidrogênio** e descoberta pelo físico alemão Eugen Goldstein em 1886 era composta de **partículas carregadas** que possuíam a **menor carga positiva** conhecida até então (a mesma carga que o elétron, mas com sinal positivo,  $+e$ ).

A essa partícula deu-se o nome de **próton**.

Ele identificou o próton como a **partícula carregada** que **compõe** os **núcleos** dos **átomos**.

A massa do próton foi determinado em  $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$  kg (= 1.007276 u), o que corresponde bem com a massa do átomo de hidrogênio.

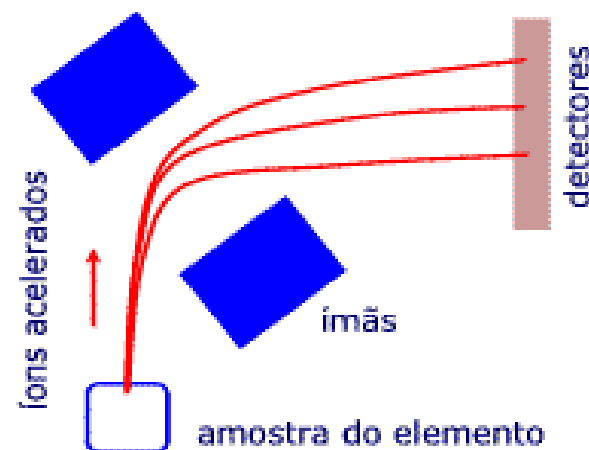
# A Descoberta do Nêutron

No início do XX século inventaram o **espectrômetro de massa**.

Numa câmara de gás do material a estudar, são removidos um ou mais elétrons dos átomos ou moléculas do material, assim criando **íons positivos**.

Estes são acelerados por um campo elétrico e depois defletidos por um campo magnético.

O ângulo de deflexão e, assim, a posição onde os íons batem nos detectores, depende da sua razão carga/massa, o que gera um **espectro de massas**.

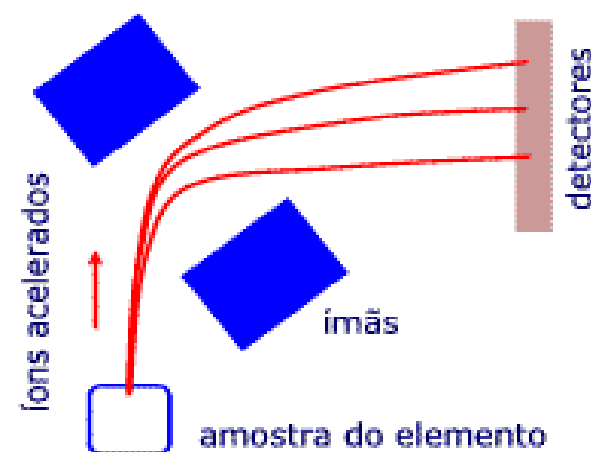


# A Descoberta do Nêutron

Descobriu-se, que a **massa** de um **íon** de um átomo com número atômico  $Z$  não era simplesmente  $Z \cdot m_p$ , mas em torno de um **múltiplo maior** de **massas** do **próton**,  $A \cdot m_p$ , onde  $A \geq Z$  é chamado **número de massa**.

Às vezes, até íons (átomos) do mesmo elemento têm várias (números de) massas possíveis.

=> Existem **outras partículas** dentro do **núcleo**, que têm aproximadamente a **mesma massa** que o **próton**, mas **não** têm **carga elétrica**.



# A Descoberta do Nêutron

Estas partículas eletricamente neutras se chamam **nêutrons**.

A massa do nêutron é  
 $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$  kg

(massa do próton:  $1,673 \cdot 10^{-27}$  kg).

Desta maneira, Chadwick descobriu o nêutron em 1932, rendendo a ele o prêmio Nobel em 1935.



James Chadwick,  
(1891-1974).



# A Descoberta do Neutrino

1932: W. Pauli propõe a **existência** dos **neutrinos** no **decaimento beta**.

1955: Cowan e Reines **detectam experimentalmente** os neutrinos.

Reines recebeu o prêmio Nobel em 1995 em nome dos dois.



Clyde L. Cowan  
(1919-1974)



Frederick Reines  
(1918-1998)



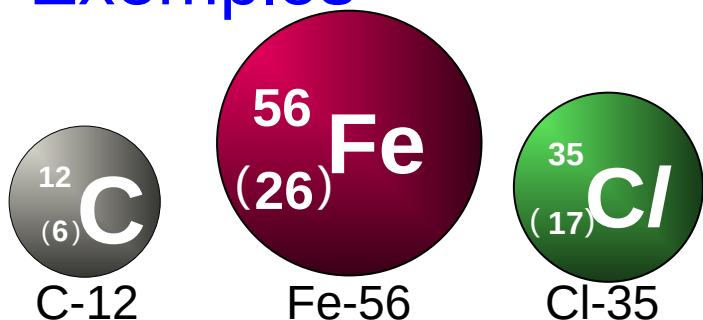
# Os Elementos

## Representação de um Elemento Químico

${}^A_ZX$  ou  ${}^AX$  (às vezes  ${}_ZX^A$ , mas isto pode causar confusão com o número de carga => aula mais pra frente)  
ou  $X-A$

De acordo com a IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada), devemos indicar o **símbolo** do **elemento** químico,  $X$ , e junto a ele, o **número de massa**,  $A$ , que é o número total de **núcleons** (prótons e nêutrons). Colocar o **número atômico**  $Z$  é opcional, já que o  $Z$  já é dado pelo símbolo do elemento. Obviamente, o número de nêutrons é  $N = A - Z$ .

## Exemplos



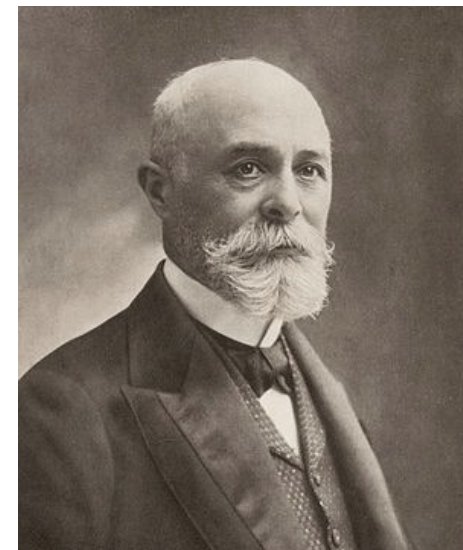
Elemento	A	Z	N	no. p <sup>+</sup>	no. e <sup>-</sup>
Carbono (C)	12	6	6	6	6
Ferro (Fe)	56	26	30	26	26
Cloro (Cl)	35	17	18	17	17

# Radioatividade

Dois meses depois de Röntgen ter descoberto os raios-X (=> duas aulas atrás), **Becquerel** tentou descobrir se existia algum elemento que emitia espontaneamente raios-X.

Para isso ele envolveu um filme fotográfico em papel preto para protegê-lo da luz, e então pôs diferentes pedaços de elementos sobre o filme coberto. Becquerel sabia que se algum elemento emitisse raios-X, eles atravessariam o papel e escureceriam o filme.

Encontrou apenas o **urânio** que emitia esses raios...



Henri Becquerel  
(1852-1908)



# Radioatividade

**Marie Curie** mostrou em 1898 que a radiação, que ela chamou de **radioatividade**, era emitida pelo **urânio**, independente do **composto** em que ele estava.

- **Átomos** de **urânio** eram a fonte de radiação. Assim como: tório, rádio e polônio.

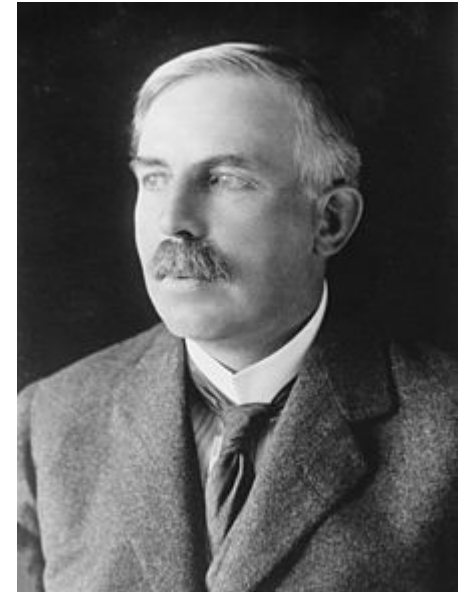


**Marie Skłodowska Curie**  
(1867–1934)

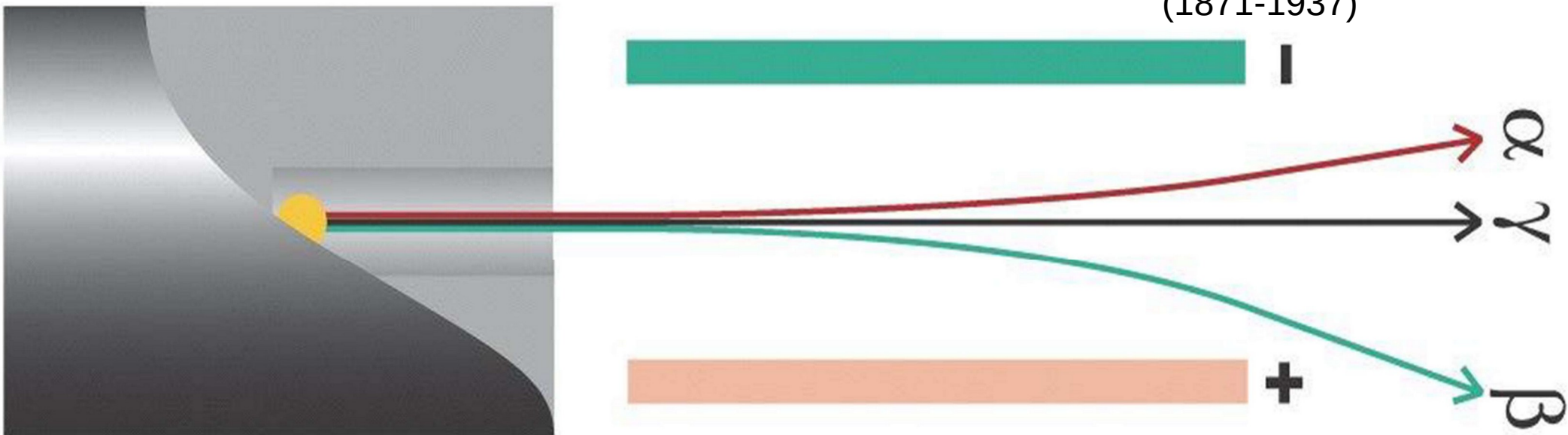
# Radioatividade

Ernest Rutherford (1898) identificou **três** diferentes **tipos** de **radioatividade** ao observar o efeito de **campos elétricos** sobre as **emissões** radioativas;

- 3 tipos de radiação: alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) e gama ( $\gamma$ ).

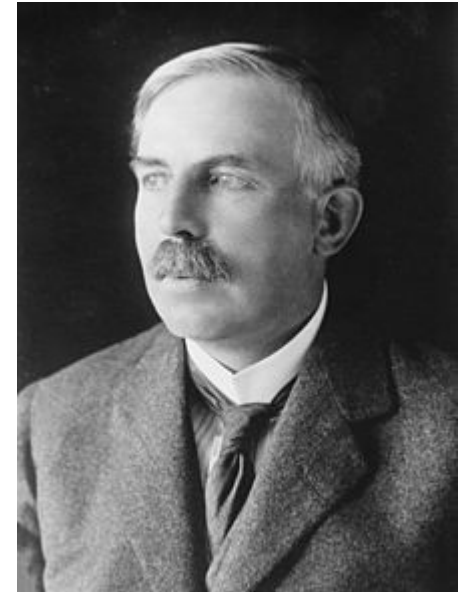


Ernest Rutherford  
(1871-1937)

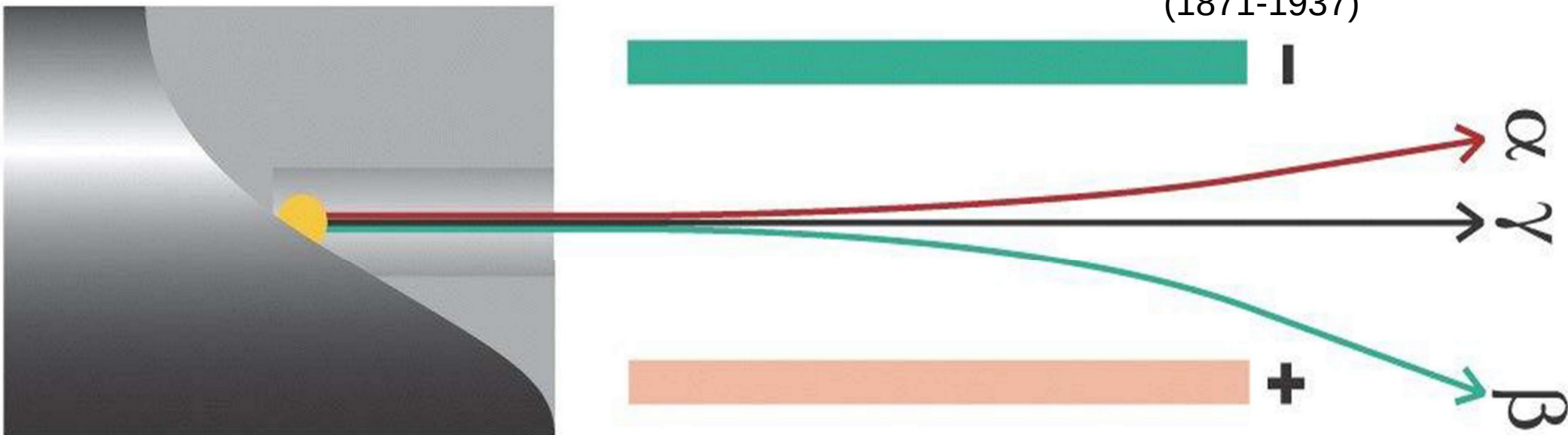


# Radioatividade

- Os raios  $\alpha$  são desviados rumo placa carregada negativamente, e possuem carga elétrica positiva.
- Os raios  $\beta$  são desviados rumo placa carregada positivamente, e possuem carga elétrica negativa.
- Os raios  $\gamma$  não são desviados e portanto são eletricamente neutros.



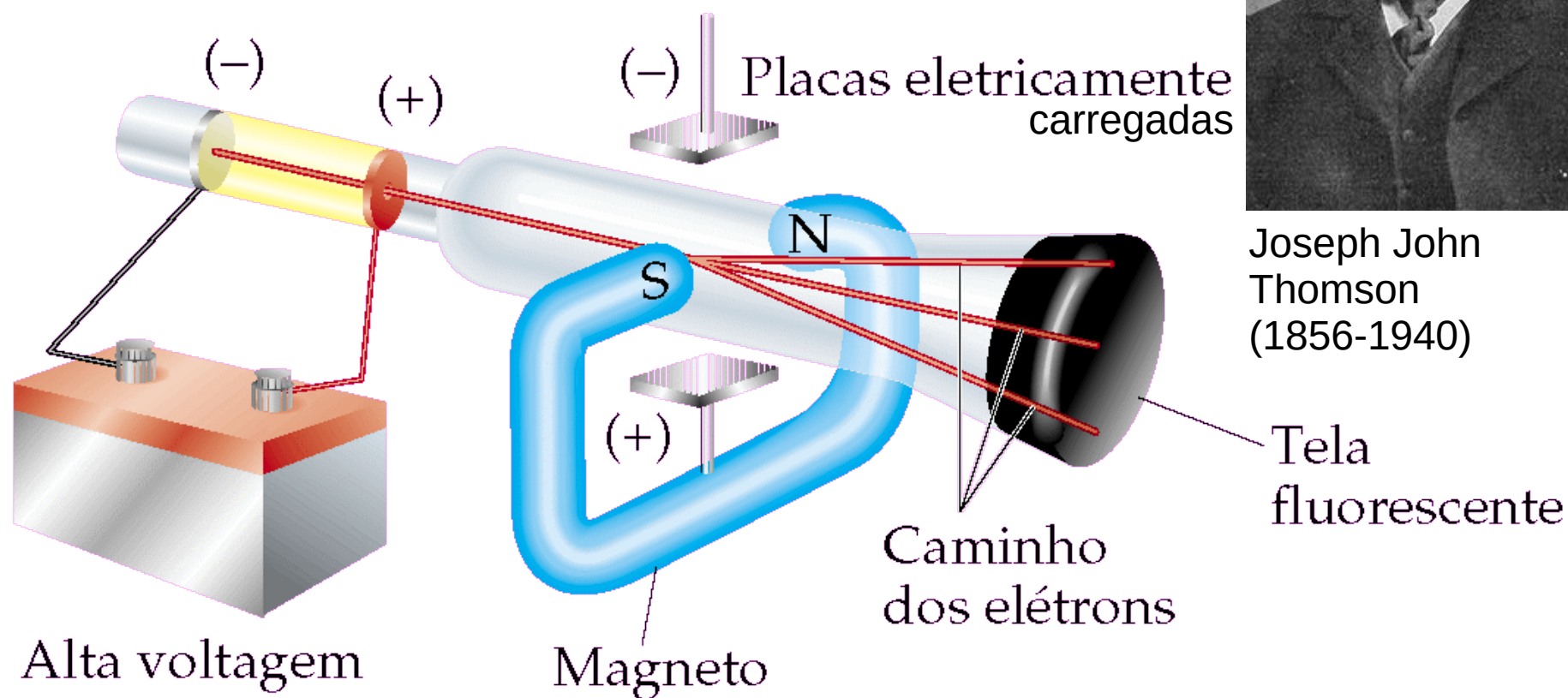
Ernest Rutherford  
(1871-1937)



# Radioatividade

Os **raios  $\beta$**  já tinham sido descobertos no ano anterior por **J. J. Thomson**.

Ele os chamou de “**raios catódicos**” (já tínhamos mencionado).



Joseph John Thomson  
(1856-1940)

# O que é Radioatividade?

A radioatividade é produzida pelo **decaimento nuclear**, a **decomposição parcial** de um **núcleo**, normalmente causado pela **repulsão** entre os **prótons** do núcleo **superar** as **forças nucleares** que mantêm o núcleo unido.

- A **mudança** de **composição** de um **núcleo** é chamada de **reação nuclear**.
- Os núcleos que modificam suas estruturas **espontaneamente** e **emitem radiação** são chamados de **radioativos**.
- O processo de o núcleo espontaneamente perder “algo” (i.e. partículas, que podem ser fótons; em todos os casos perde energia) é chamado **decaimento nuclear**.
- O **número** de **massa total**, a **carga total** e a **energia total** se **conservam** em uma reação nuclear.

# O que é Radioatividade?

## Reações nucleares versus Reações químicas

- **Isótopos diferentes** de um **mesmo elemento** (núcleos com o **mesmo número** de **prótons**, mas um **número diferente** de **nêutrons**) sofrem essencialmente as **mesmas reações químicas**, mas seus **núcleos** sofrem **reações nucleares** muito **diferentes**:
  - **Transmutação nuclear**, isto é, a **conversão** de um **elemento** em **outro** (**mudando** o número de **prótons**).
  - **Variações de energia** são **muito maiores** para as **reações nucleares** do que para as **reações químicas**.  
Exemplo: combustão de 1.0 g de metano (52 kJ de energia na forma de calor). Em contrapartida, uma reação nuclear de 1.0 g de urânio-235 produz cerca de  $8.2 \cdot 10^7$  kJ de energia.

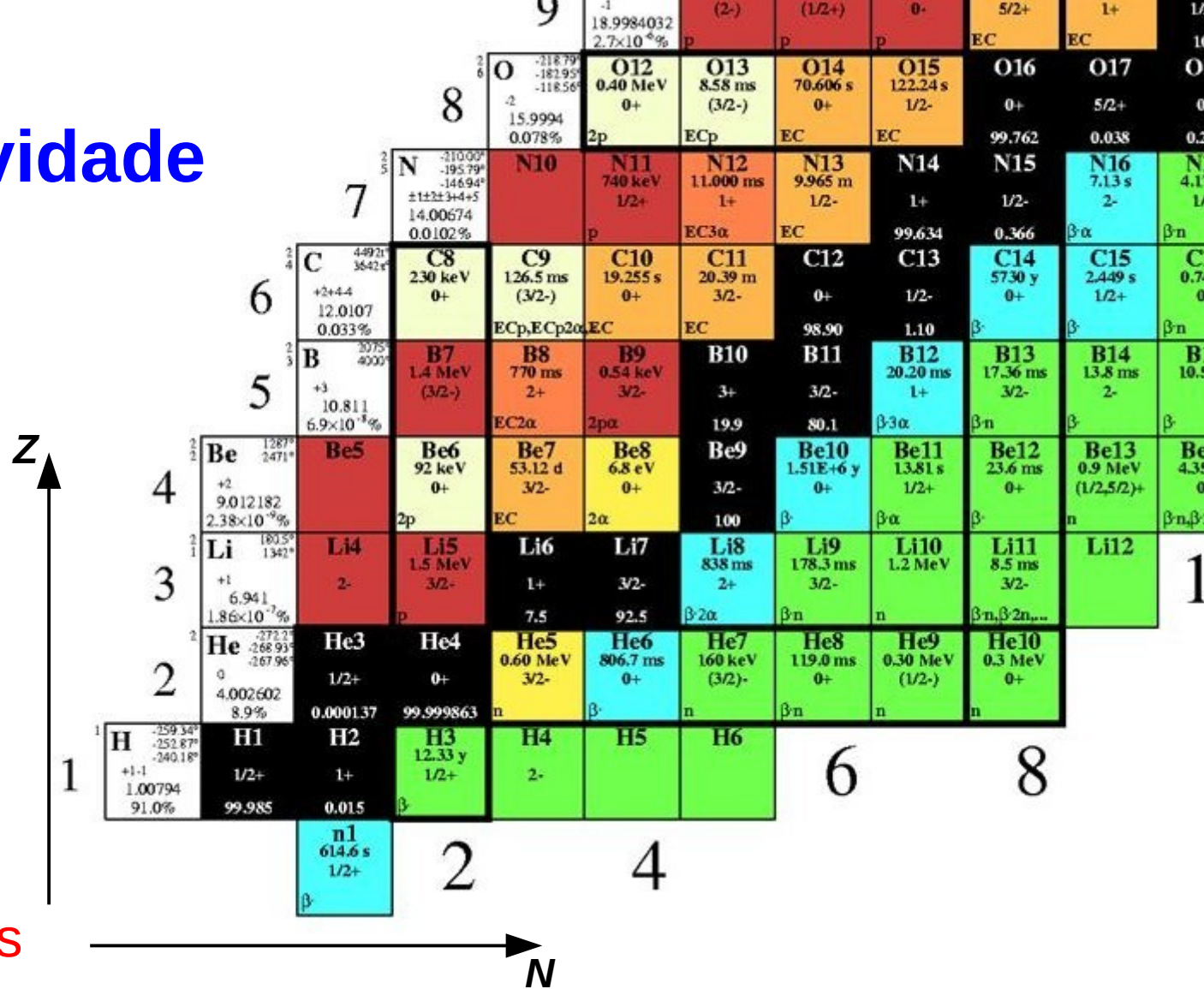
# Radioatividade

## Reações nucleares

Para falar de reações nucleares temos que botar **ordem** nos **isótopos** (núcleos) dos elementos.

Estes núcleos podem ser **ordenados** por **números** de **nêutrons** e **prótons** numa **tabela de isótopos**.

Em preto: **isótopos estáveis**.



# Radioatividade

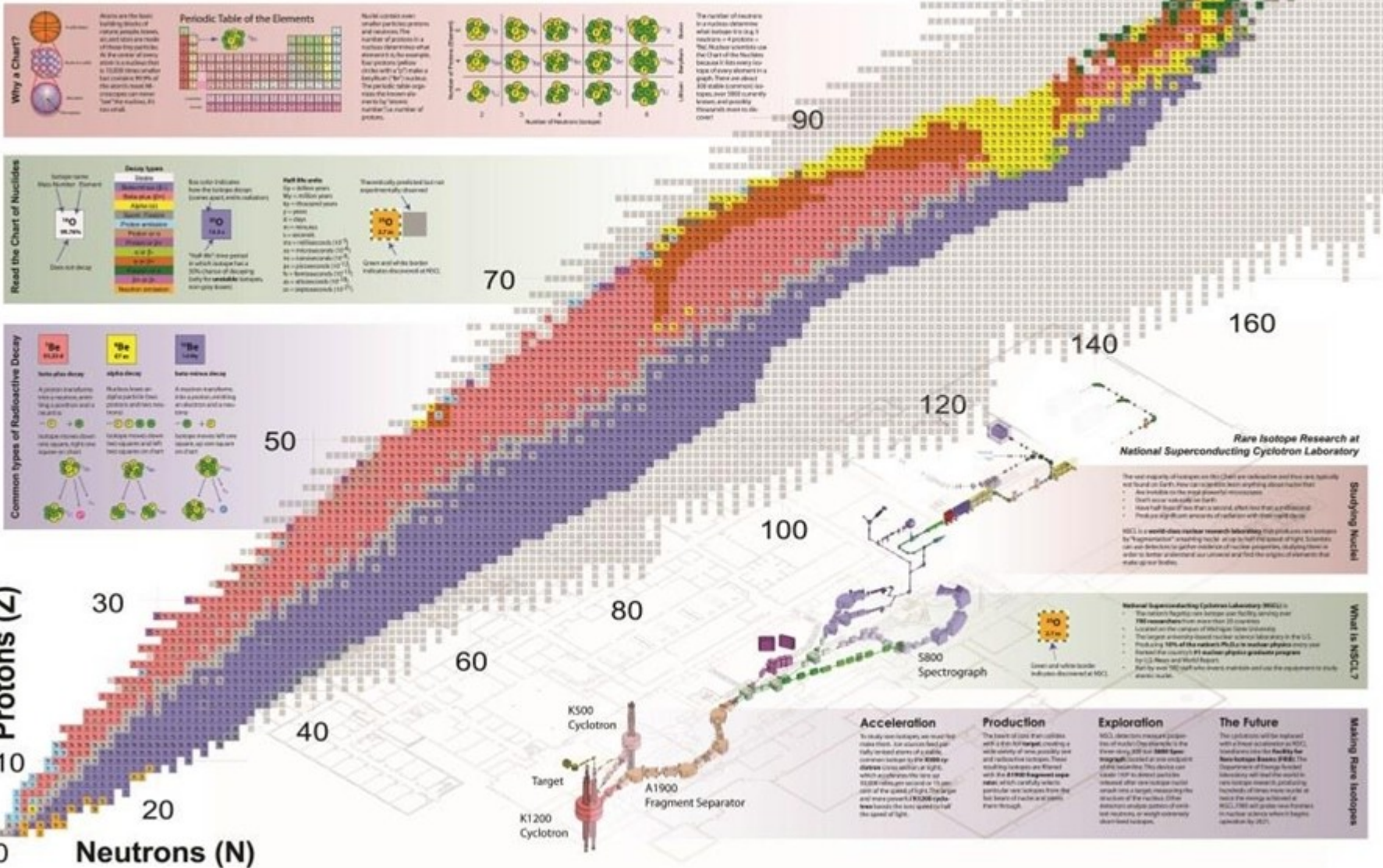
A Tabela completa

## Chart of the Nuclides

Created at National Superconducting Cyclotron Laboratory, Michigan State University, 2013 using LISE++



Operation of NSCL as a national user facility is supported by the Experimental Nuclear Physics Program of the U.S. National Science Foundation.



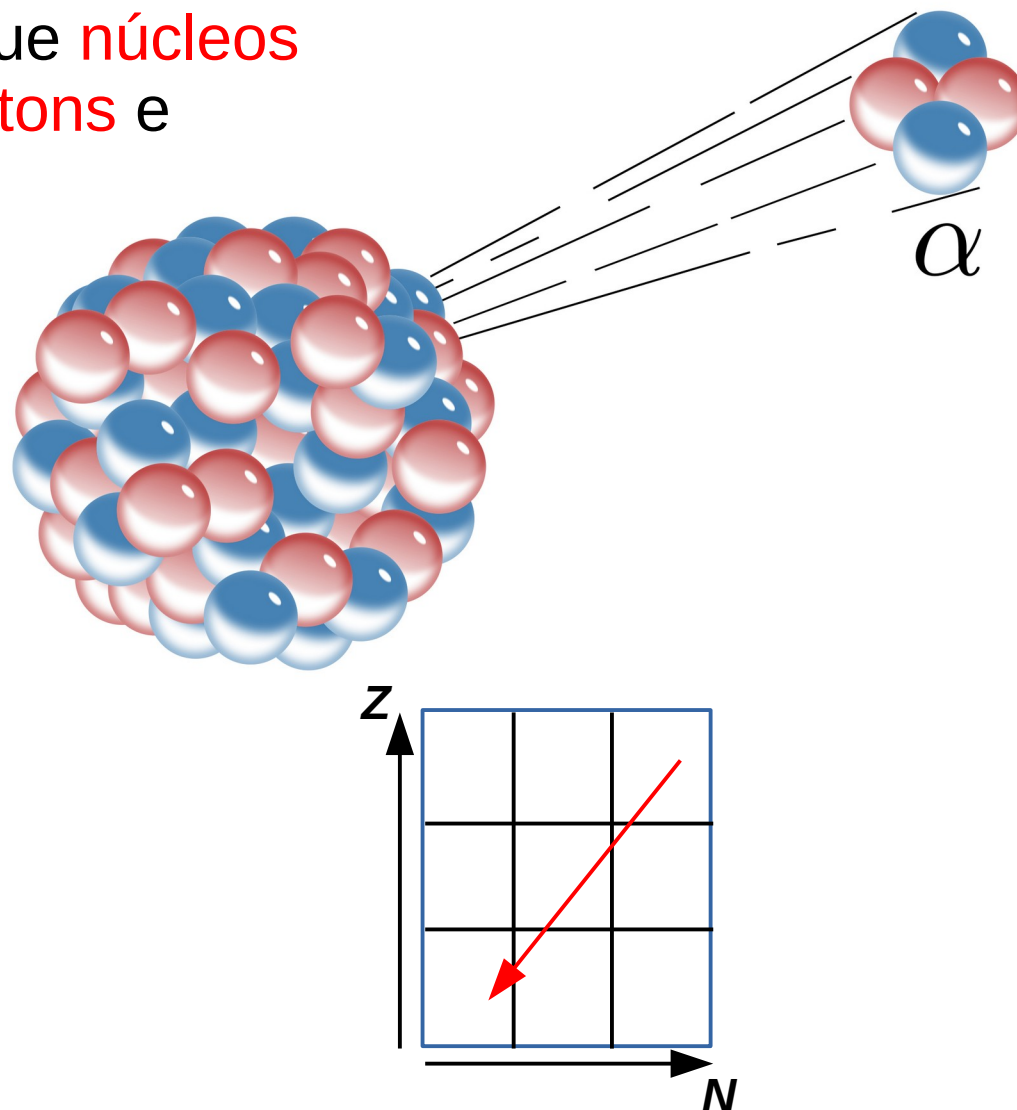
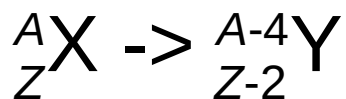
# Radioatividade

As partículas  $\alpha$  são nada outro que **núcleos** de átomos de **He**, feitos de **2 prótons** e **2 nêutrons**.

$$\alpha = {}^4\text{He}^{2+}$$

Raios  $\alpha$  têm **baixo** poder de **penetração**. Pele ou uma folha de papel já bloqueiam os raios.

Um **núcleo** que fez um decaimento  $\alpha$  tem, então, **2 prótons** e **2 nêutrons**, isto é, **4 núcleons** a **menos** que antes:



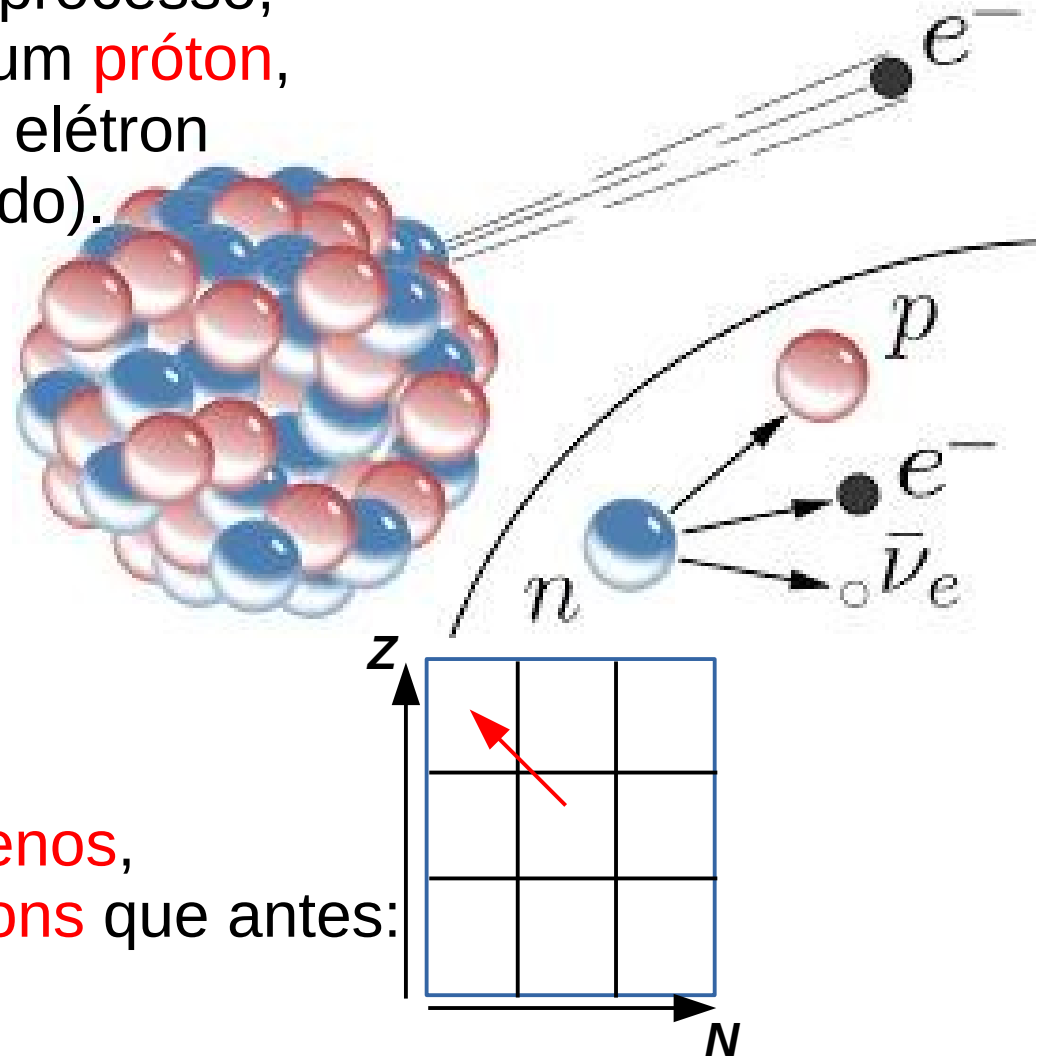
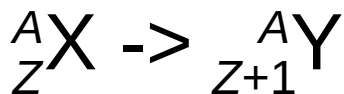
# Radioatividade

As partículas  $\beta$  são **elétrons**. No processo, um **néutron** do núcleo decai em um **próton**, um **elétron** e um anti-**neutrino** do elétron (que normalmente não é detectado).

$$\beta = e^-$$

Para **bloquear** raios  $\beta$  é preciso de uma **proteção** de alumínio de 3 mm de espessura.

Um **núcleo** que fez um decaimento  $\alpha$  tem, então, **1 próton a mais e 1 néutron a menos**, mais o **mesmo número de núcleons** que antes:



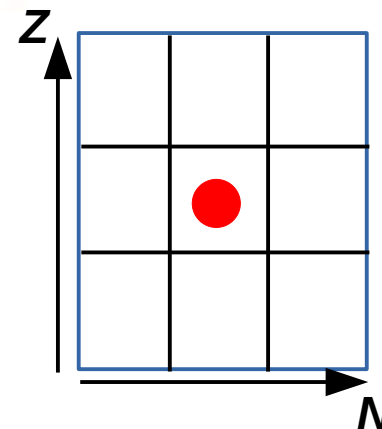
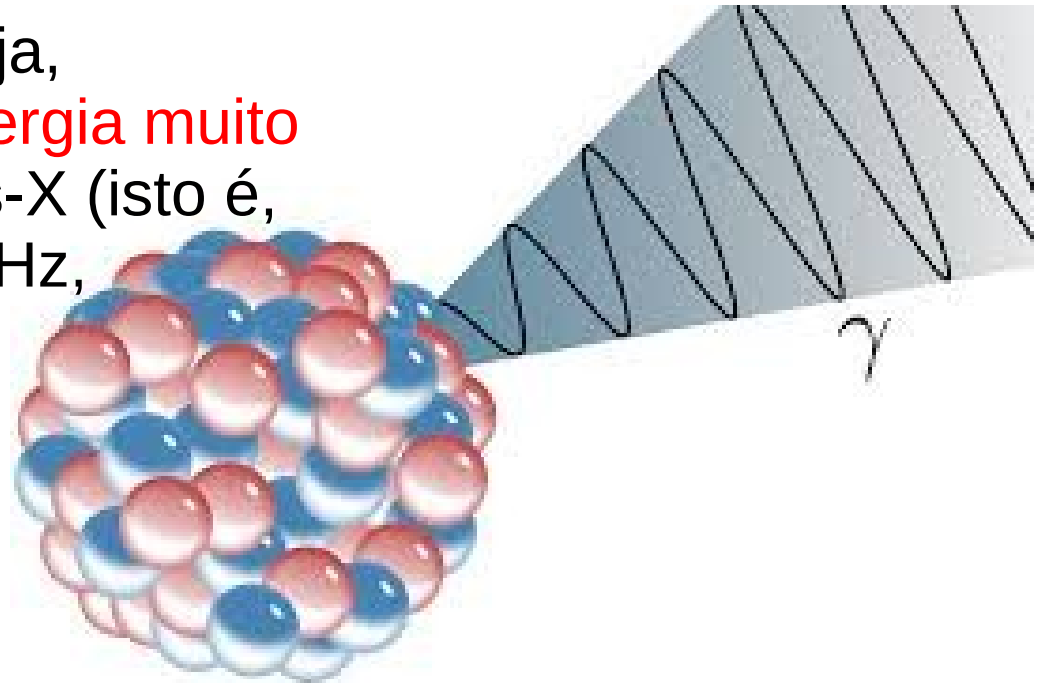
# Radioatividade

As partículas  $\gamma$  são **fótons**, ou seja, **radiação eletromagnética**, de **energia muito alta**, ainda mais alta que os raios-X (isto é, frequência muito alta,  $\nu > 3 \cdot 10^{19}$  Hz, c.d.o. muito curto,  $\lambda < 10$  pm)

$$\gamma = \gamma$$

Raios  $\gamma$  têm **alto** poder de **penetração**. Para bloqueá-los é preciso de concreto ou chumbo.

Núcleos que emitem raios gama **não** necessariamente **mudam** de **número** de **prótons**, **nêutrons** ou **núcleons**.



# Radioatividade

Há outras radiações que podem ser emitidas por núcleos radioativos.

**TABLE 17.1** Nuclear Radiation

Type	Degree of penetration	Speed*	Particle <sup>†</sup>	Mass number	Charge	Example
$\alpha$	not penetrating but damaging	10% of $c$	helium-4 nucleus ${}^4_2\text{He}^{2+}$ , ${}^4_2\alpha$ , $\alpha$	4	+2	${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + \alpha$ (Fig. 17.7)
$\beta$	moderately penetrating	less than 90% of $c$	electron ${}^0_{-1}\text{e}$ , $\beta^-$ , $\beta$	0	-1	${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^0_{-1}\text{e}$ (Fig. 17.8)
electron capture <sup>‡</sup>	—	—	electron	0	-1	${}^{44}_{22}\text{Ti} + {}^0_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{44}_{21}\text{Sc}$ (Fig. 17.9)
$\gamma$	very penetrating; often accompanies other radiation	$c$	photon	0	0	${}^{60}_{27}\text{Co}^{\S} \rightarrow {}^{60}_{27}\text{Co} + \gamma$ (Fig. 17.6)
$\beta^+$	moderately penetrating	less than 90% of $c$	positron ${}^0_{+1}\text{e}$ , $\beta^+$	0	+1	${}^{22}_{11}\text{Na} \rightarrow {}^{22}_{10}\text{Ne} + {}^0_{+1}\text{e}$ (Fig. 17.10)
p	moderate or low penetration	10% of $c$	proton ${}^1_1\text{H}^+$ , ${}^1_1\text{p}$ , p	1	+1	${}^{53}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{52}_{26}\text{Fe} + {}^1_1\text{p}$
n	very penetrating	less than 10% of $c$	neutron ${}^1_0\text{n}$ , n	1	0	${}^{137}_{53}\text{I} \rightarrow {}^{136}_{53}\text{I} + {}^1_0\text{n}$

\* $c$  is the speed of light.

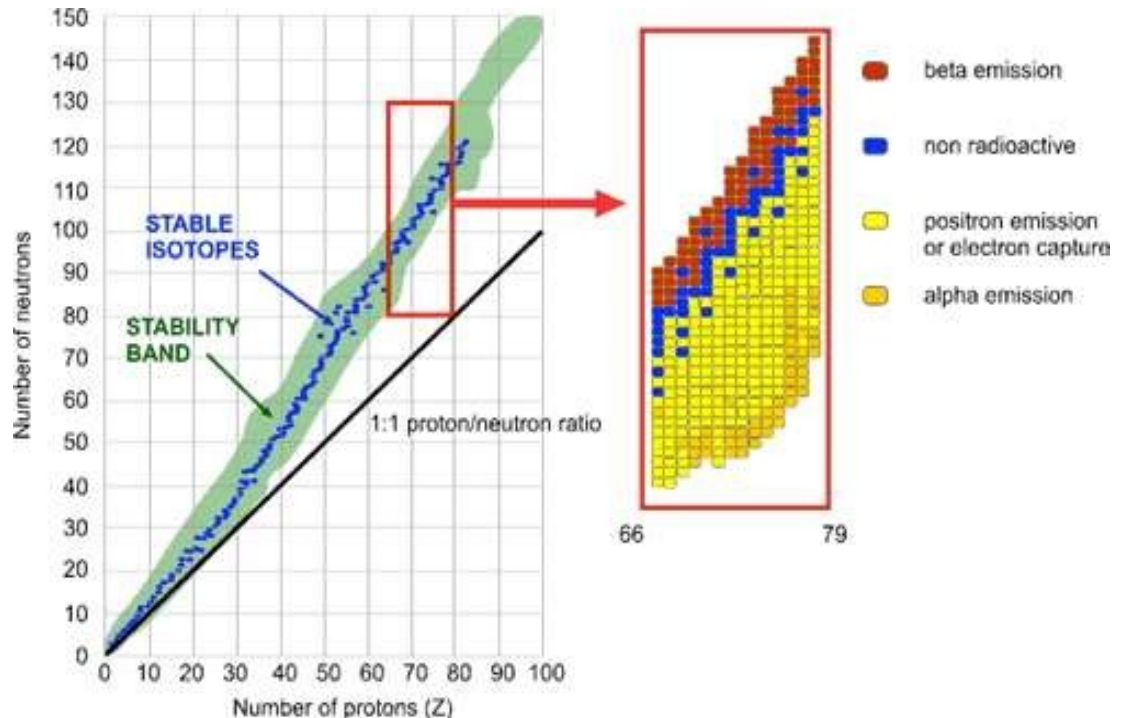
<sup>†</sup>Alternative symbols are given for the particles; often it is sufficient to use the simplest (the one on the right).

<sup>‡</sup>Electron capture is not nuclear radiation but is included for completeness.

<sup>§</sup>An energetically excited state of a nucleus is usually denoted by an asterisk (\*).

# Radioatividade

Em geral, **isótopos acima da faixa de estabilidade** fazem decaimentos  $\beta$ , isótopos a **baixo** desta faixa, decaimentos  $\beta^+$ , (emissão de um **pósitron**,  $e^+$ ) ou **captura** de um **elétron**, e isótopos no canto **superior direito** da tabela, decaimentos  $\alpha$ .



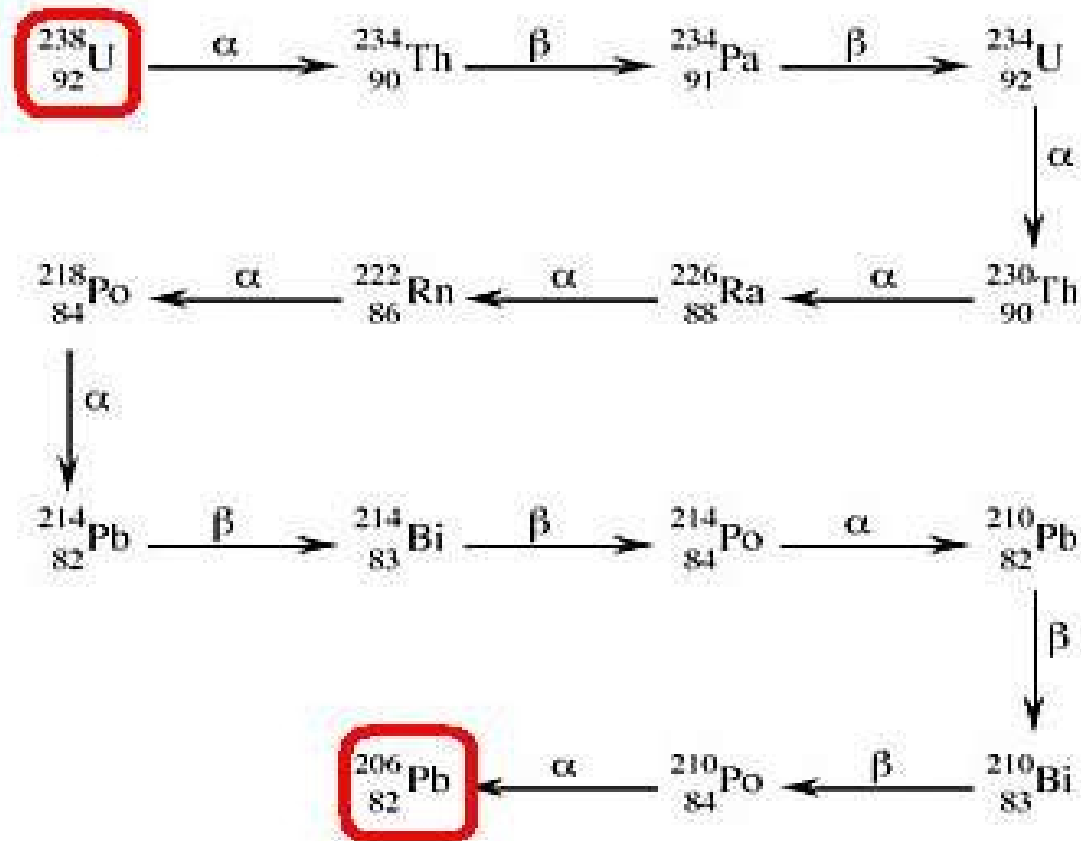
**Todos** os elementos com **número atômico maior** que 82 (**chumbo**) são **radioativos**.

TABELA 21.3 Número de isótopos estáveis com números pares e ímpares de prótons e nêutrons

Número de isótopos estáveis	Prótons	Nêutrons
157	Par	Par
53	Par	Ímpar
50	Ímpar	Par
5	Ímpar	Ímpar

# Radioatividade

## Decaimento Natural de $^{238}\text{U}$



# Radioatividade

## Vida Média e Meia-Vida

Quanto **tempo** um **dado núcleo** leva para **decair**?

Isto é **aleatório**, mas dá para fazer algumas **afirmações estatísticas** sobre amostras de **números grandes** de **núcleos** do mesmo isótopo instável.

Seja  $N(t)$  o **número** de **núcleos** presentes no **instante**  $t$ .

Definimos  $N_0 = N(0)$  o **número inicial**.

Em cada momento, o **número** de núcleos **decaindo** é **proporcional** ao **número disponível**, tal que a curva  $N-t$  é **caindo** e **caindo mais rapidamente**, quanto **mais alto** é o **valor** de  $N(t)$ .

Em FUV e IEDO, vocês verão que tal comportamento da taxa de decaimento dá numa **função exponencial**:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-at} \text{ ou } N_0 \cdot e^{-t/\tau} \quad (e = 2.71828\dots, \text{ o número de Euler})$$

# Radioatividade

## Vida Média e Meia-Vida

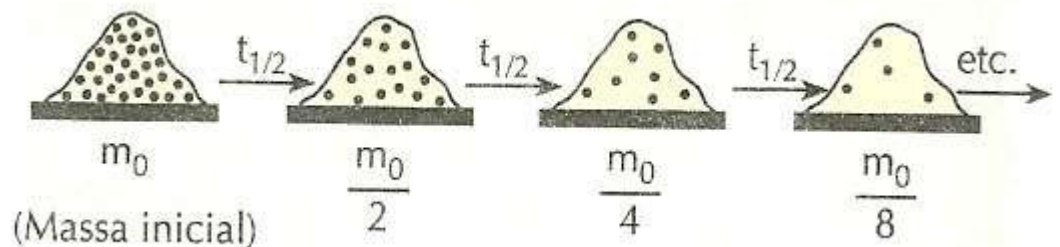
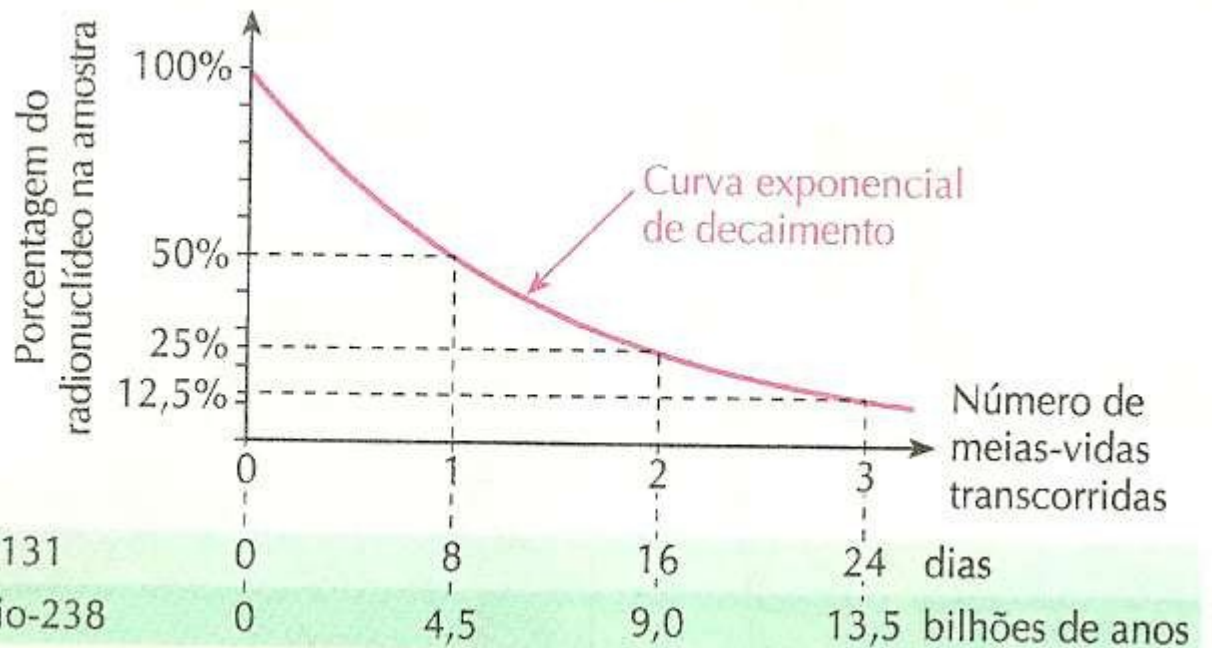
$$N(t) = N_0 \cdot e^{-t/\tau}$$

O  $\tau$  é chamado **vida média** (ou vida-média) do **isótopo** e é, o que o nome diz.

Outra grandeza para quantificar a taxa de decaimento é a

**meia-vida**  $\tau_{1/2}$ , o tempo, naquele **metade** dos núcleos **decai** ( $N(\tau_{1/2}) = 1/2 \cdot N_0$ ):

$$N_0 \cdot e^{-\tau_{1/2}/\tau} = 1/2 \cdot N_0 \Rightarrow \tau_{1/2} = \ln 2 \cdot \tau$$



# Radioatividade

Meias-Vidas dos isótopos do decaimento natural de  $^{238}\text{U}$

Elemento	Tipo de radiação emitida	Meia-vida, $t_{1/2}$
$^{238}\text{U}$ (urânio, $z = 92$ )	$\alpha$	4,5 bilhões de anos
$^{234}\text{Th}$ (tório, $z = 90$ )	$\beta$	24,1 dias
$^{234}\text{Pa}$ (protactínio, $z = 91$ )	$\beta$	1,17 min
$^{234}\text{U}$ (urânio, $z = 92$ )	$\alpha$	245 mil anos
$^{230}\text{Th}$ (tório, $z = 90$ )	$\alpha$	8 mil anos
$^{226}\text{Ra}$ (rádio, $z = 88$ )	$\alpha$	1620 anos
$^{222}\text{Rn}$ (radônio, $z = 86$ )	$\alpha$	3,8 dias
$^{218}\text{Po}$ (polônio, $z = 84$ )	$\alpha$	3,1 min
$^{214}\text{Pb}$ (chumbo, $z = 82$ )	$\beta$	26,8 min
$^{214}\text{Bi}$ (bismuto, $z = 83$ )	$\beta$	19,7 min
$^{214}\text{Po}$ (polônio, $z = 84$ )	$\alpha$	0,2 ms
$^{210}\text{Pb}$ (chumbo, $z = 82$ )	$\beta$	22,3 anos
$^{210}\text{Bi}$ (bismuto, $z = 83$ )	$\beta$	5,0 dias
$^{210}\text{Po}$ (polônio, $z = 84$ )	$\alpha$	138,4 dias
$^{206}\text{Pb}$ (chumbo, $z = 82$ )		ESTÁVEL

# Radioatividade

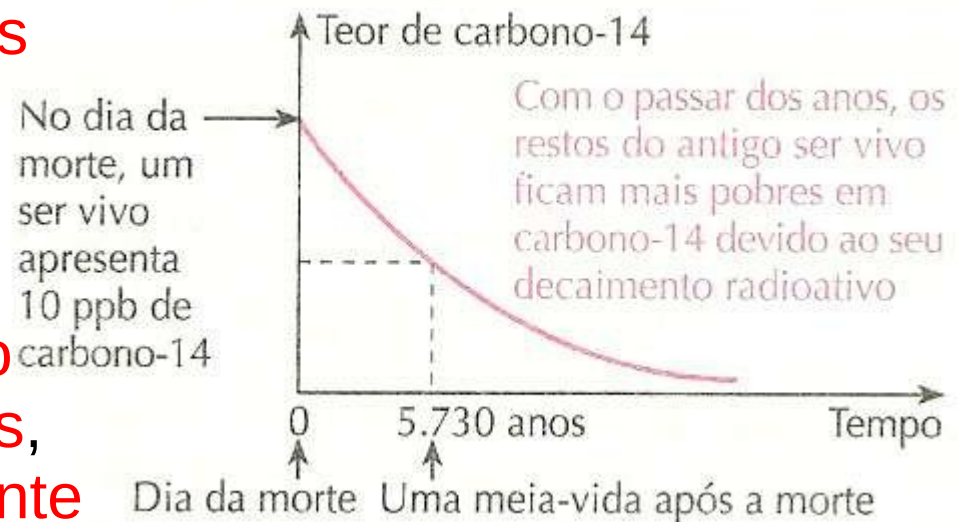
## Datação por $^{14}\text{C}$

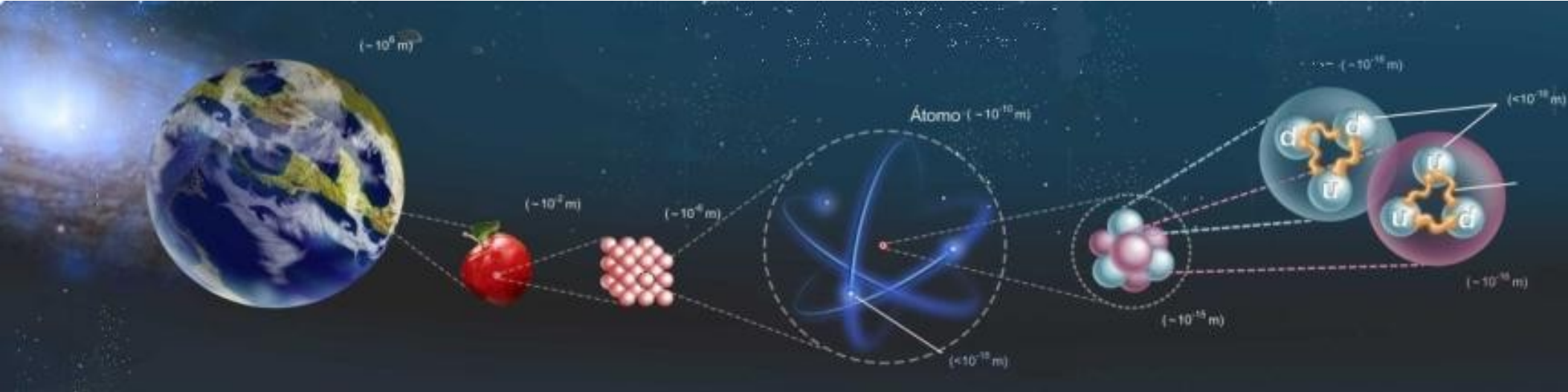
Um método de **datação** de **seres** antigamente **vivos** se baseia no **decaimento** do **isótopo** de **carbono**  $^{14}\text{C}$ .

$^{14}\text{C}$  é constantemente **produzido** na **atmosfera** por **raios cósmicos**, tal que a razão  $^{14}\text{C}:^{12}\text{C}$  é **constante** na **atmosfera**. Em **seres vivos**, esta razão é a **mesma** que na **atmosfera** até a **morte**, a partir daquele esta razão começa a **diminuir** pelo **decaimento**:

$^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + e^- + \text{energia}$ , com  $\tau_{1/2} = 5715$  anos

Pela **razão atual**  $^{14}\text{C}:^{12}\text{C}$  dá para **determinar** o **momento da morte**.





Universidade Federal do ABC

# Estrutura da Matéria

FIM pra hoje

<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/Estrutura.html>