



Universidade Federal do ABC

INTRODUÇÃO À FÍSICA NUCLEAR (NHZ3026)

Quadrimestre – 2024.3



Prof. Marcelo Augusto Leigui de Oliveira
CCNH – UFABC
leigui@ufabc.edu.br

Na Antiguidade ...

Na Antiguidade ...

Os físicos jônicos:

Physis (em grego Φύσις, "Natureza")



Na Antiguidade ...

Os físicos jônicos:

Physis (em grego Φύσις, "Natureza")



Tales de Mileto (c 625-c 547 a.C.): água



Na Antiguidade ...

Os físicos jônicos:

Physis (em grego Φύσις, "Natureza")



Tales de Mileto (c 625-c 547 a.C.): água

**Anaximandro de Mileto (c 611 – c 547 a.C.):
ápeiron (indefinido)**



Na Antiguidade ...

Os físicos jônicos:

Physis (em grego Φύσις, "Natureza")



Tales de Mileto (c 625-c 547 a.C.): **água**

Anaximandro de Mileto (c 611 – c 547 a.C.):
ápeiron (indefinido)

Anaxímenes de Mileto (c 570 – c 500 a.C.): **ar**



Na Antiguidade ...

Os físicos jônicos:

Physis (em grego Φύσις, "Natureza")



Tales de Mileto (c 625-c 547 a.C.): **água**

Anaximandro de Mileto (c 611 – c 547 a.C.):
ápeiron (indefinido)

Anaxímenes de Mileto (c 570 – c 500 a.C.): **ar**

Xenófanes de Colofão (c 570 – c 480 a.C.): **terra**



Na Antiguidade ...

Os físicos jônicos:

Physis (em grego Φύσις, "Natureza")



Tales de Mileto (c 625-c 547 a.C.): água

**Anaximandro de Mileto (c 611 – c 547 a.C.):
ápeiron (indefinido)**

Anaxímenes de Mileto (c 570 – c 500 a.C.): ar

Xenófanes de Colofão (c 570 – c 480 a.C.): terra

Heráclito de Éfeso (c 540 – c 470 a.C.): fogo



Na Antiguidade ...

Os físicos jônicos:

Physis (em grego Φύσις, "Natureza")



Tales de Mileto (c 625-c 547 a.C.): **água**

Anaximandro de Mileto (c 611 – c 547 a.C.):
ápeiron (indefinido)

Anaxímenes de Mileto (c 570 – c 500 a.C.): **ar**

Xenófanes de Colofão (c 570 – c 480 a.C.): **terra**

Heráclito de Éfeso (c 540 – c 470 a.C.): **fogo**

Empédocles de Acraga (atual Agrigento) (c 490 – c 430 a.C.):

4 elementos (água, ar, terra e fogo) e **2 forças** ou princípios: amor (*philia*) e ódio (*ekthos*), ou seja, atração e repulsão.

Na Antiguidade ... os atomistas



Demócrito de Abdera (c 460 – c 380 a.C.) e seu discípulo
Leucipo de Mileto (c 460 – c 370 a.C.):
átomos (indivisíveis) e **vácuo**.

Demócrito e Leucipo: primeiros atomistas.

Na Antiguidade ... os atomistas

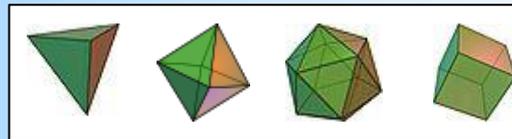


Demócrito de Abdera (c 460 – c 380 a.C.) e seu discípulo
Leucipo de Mileto (c 460 – c 370 a.C.):
átomos (indivisíveis) e **vácuo**.

Demócrito e Leucipo: primeiros atomistas.



Platão (c 427 – c 347 a.C.) propõe um modelo geométrico para
os 4 elementos:



Platão e Aristóteles n'A Escola de Atenas,
pintura de Rafael (1509-1510).

Na Antiguidade ... os atomistas

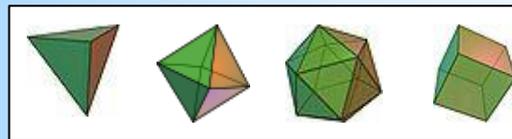


Demócrito de Abdera (c 460 – c 380 a.C.) e seu discípulo
Leucipo de Mileto (c 460 – c 370 a.C.):
átomos (indivisíveis) e **vácuo**.

Demócrito e Leucipo: primeiros atomistas.



Platão (c 427 – c 347 a.C.) propõe um modelo geométrico para
os 4 elementos:

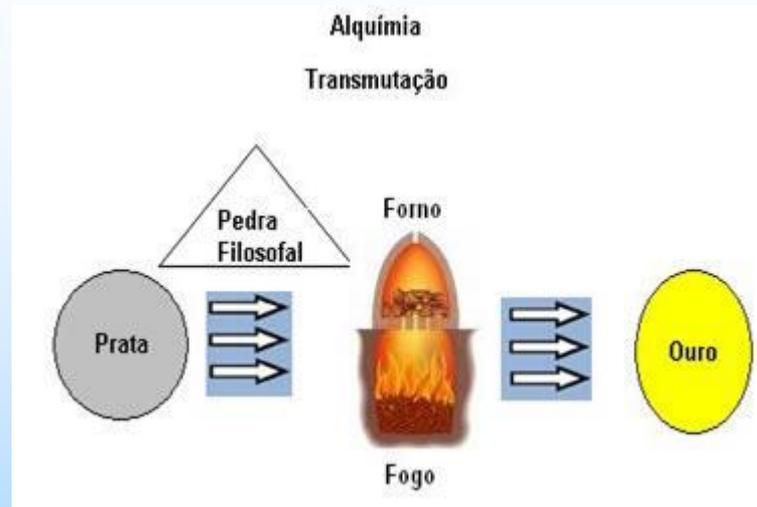
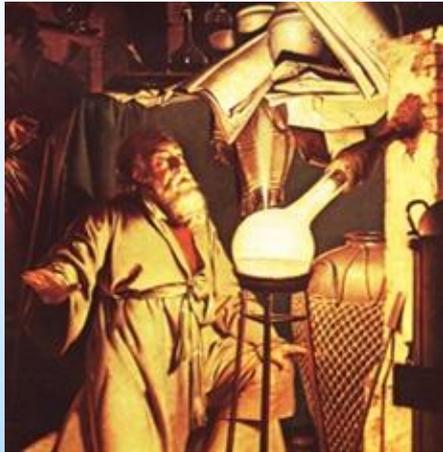


Aristóteles (384 – c 322 a.C.): rejeita a hipótese atomística,
a matéria deveria ser contínua e o vácuo não é físico.

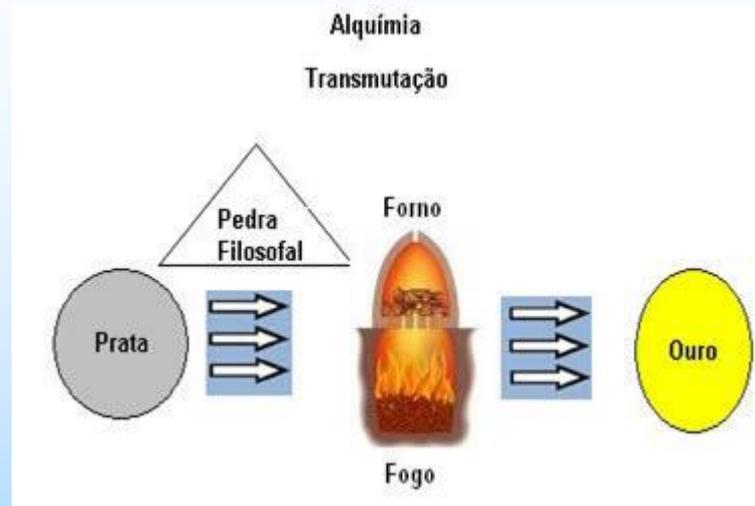
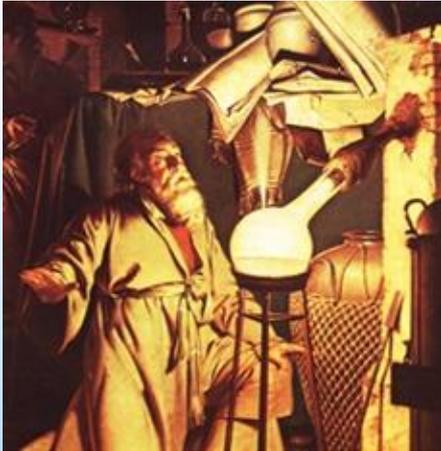
Platão e Aristóteles n'A Escola de Atenas,
pintura de Rafael (1509-1510).

Na Idade Média ...

Na Idade Média ... prevaleceu a visão aristotélica

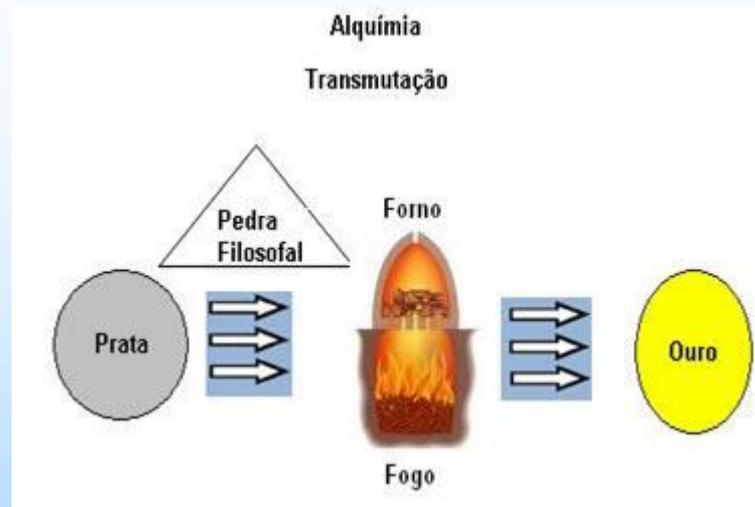
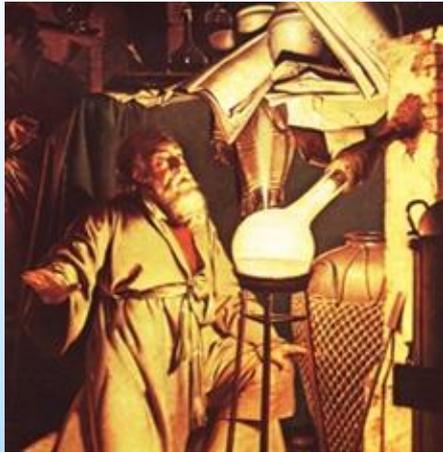


Na Idade Média ... prevaleceu a visão aristotélica



Visão aristotélica dominante: a natureza tem *horror ao vácuo*?

Na Idade Média ... prevaleceu a visão aristotélica



Visão aristotélica dominante: a natureza tem *horror ao vácuo*?



Otto von Guericke (1602-1686)



1654 Esferas de Magdeburgo

Nos séc. XVII

Newton deu várias contribuições para a óptica, sintetizadas em seu livro *Optiks* (1704).

- Construiu o primeiro telescópio refletor (ou newtoniano):



Isaac Newton (1643 - 1727)

- Descobriu que a dispersão da luz branca por um prisma:

- Realizou o *experimentum crucis* (1666):

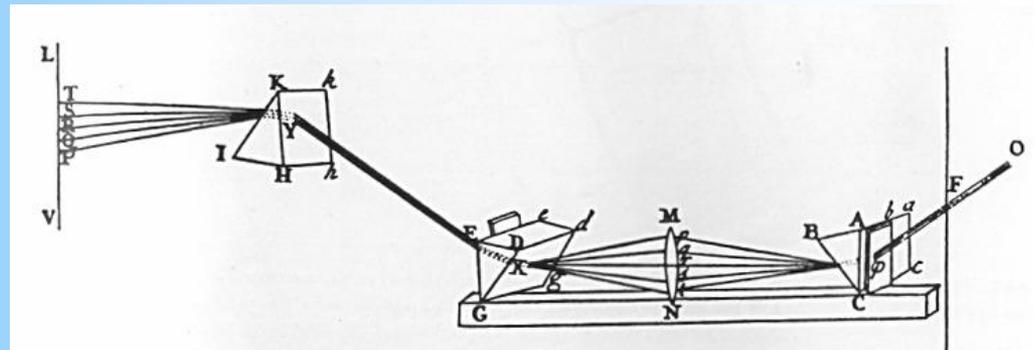
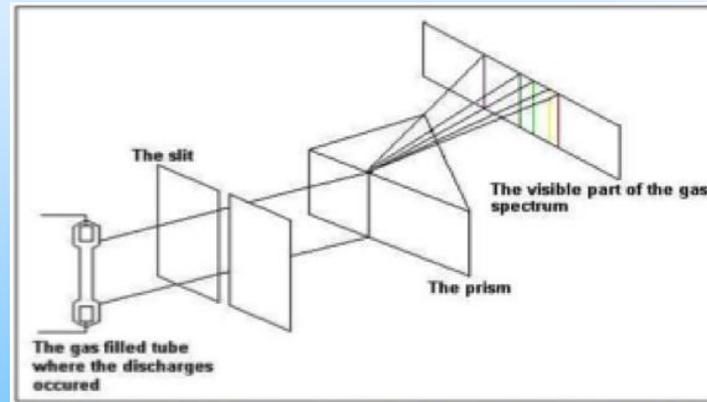


FIG. 16.

Nos sécs. XVIII e XIX

- (1752) Thomas Melvill nota que gases aquecidos emitem linhas (claras) em frequências específicas:



Nos sécs. XVIII e XIX

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

Nos sécs. XVIII e XIX

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”

Exemplo: $2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

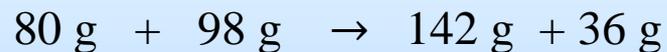


Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

Nos sécs. XVIII e XIX

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”

Exemplo: $2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

Nos sécs. XVIII e XIX

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”

Exemplo: $2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

$$80 \text{ g} + 98 \text{ g} \rightarrow 142 \text{ g} + 36 \text{ g}$$

$$\sum m_i = 178 \text{ g} = \sum m_f = 178 \text{ g}$$



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

Nos sécs. XVIII e XIX

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”



$$80 \text{ g} + 98 \text{ g} \rightarrow 142 \text{ g} + 36 \text{ g}$$

$$\sum m_i = 178 \text{ g} = \sum m_f = 178 \text{ g}$$

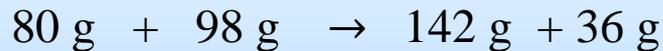
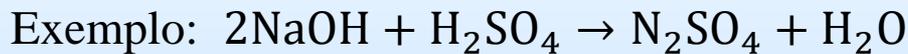


Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

“Na natureza, nada se cria, nada se destrói, mas tudo se transforma.”

Nos sécs. XVIII e XIX

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”



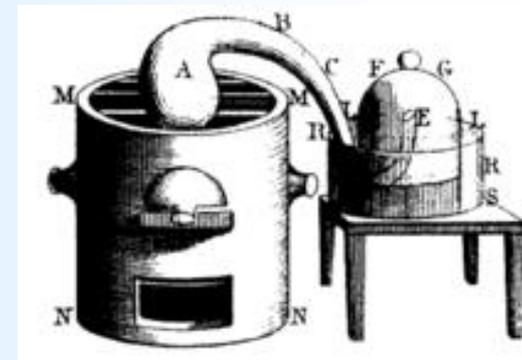
$$\sum m_i = 178 \text{ g} = \sum m_f = 178 \text{ g}$$



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

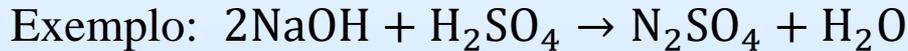
“Na natureza, nada se cria, nada se destrói, mas tudo se transforma.”

- **1778** Identificou e batizou o oxigênio, desmitificando a teoria do *flogisto* e formulando a teoria da combustão



Nos sécs. XVIII e XIX

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”



$$80 \text{ g} + 98 \text{ g} \rightarrow 142 \text{ g} + 36 \text{ g}$$

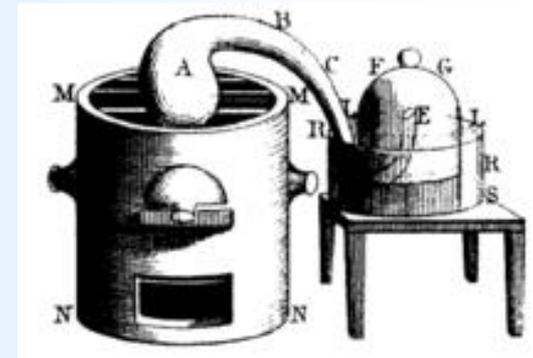
$$\sum m_i = 178 \text{ g} = \sum m_f = 178 \text{ g}$$



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

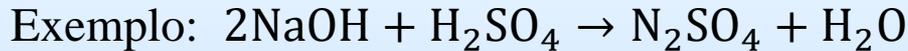
“Na natureza, nada se cria, nada se destrói, mas tudo se transforma.”

- **1778** Identificou e batizou o oxigênio, desmitificando a teoria do *flogisto* e formulando a teoria da combustão;
- Identificou e/ou previu outros elementos: H, Si, S, ... colaborando na nomenclatura dos elementos químicos



Nos sécs. XVIII e XIX

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”



$$80 \text{ g} + 98 \text{ g} \rightarrow 142 \text{ g} + 36 \text{ g}$$

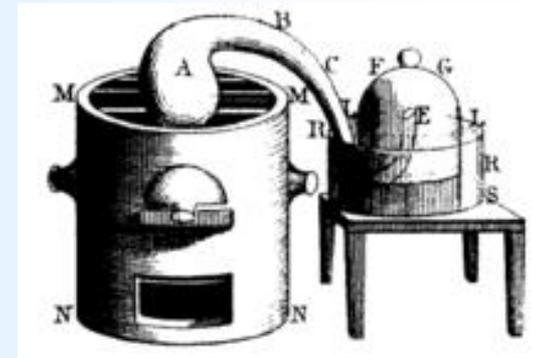
$$\sum m_i = 178 \text{ g} = \sum m_f = 178 \text{ g}$$



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

“Na natureza, nada se cria, nada se destrói, mas tudo se transforma.”

- **1778** Identificou e batizou o oxigênio, desmitificando a teoria do *flogisto* e formulando a teoria da combustão;
- Identificou e/ou previu outros elementos: H, Si, S, ... colaborando na nomenclatura dos elementos químicos;
- Contribuiu na construção do **sistema métrico** ...



Nos sécs. XVIII e XIX

1794 Proust estabelece a lei da composição constante: “na formação de um determinado composto, seus elementos constituintes combinam-se sempre na mesma proporção de massa, independente da origem ou modo de preparação do composto.”



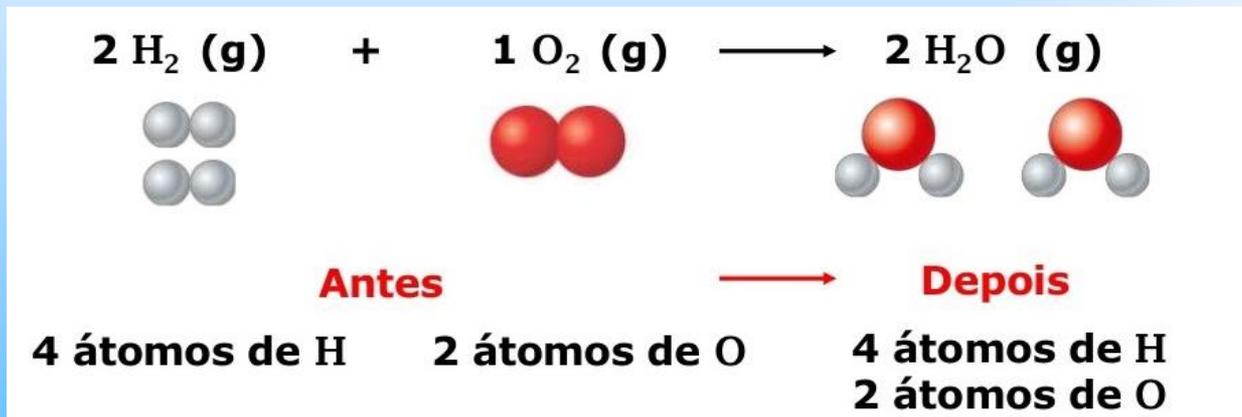
Joseph Louis Proust (1754-1826)

Nos sécs. XVIII e XIX

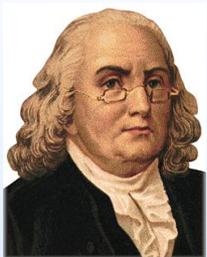
1794 Proust estabelece a lei da composição constante: “na formação de um determinado composto, seus elementos constituintes combinam-se sempre na mesma proporção de massa, independente da origem ou modo de preparação do composto.”



Joseph Louis Proust (1754-1826)



Nos sécs. XVIII e XIX



Benjamin Franklin (1706-1790), polímata estadounidense.

Nos sécs. XVIII e XIX



Benjamin Franklin (1706-1790), polímata estadunidense.

- Demonstrou que os raios são fenômenos elétricos:



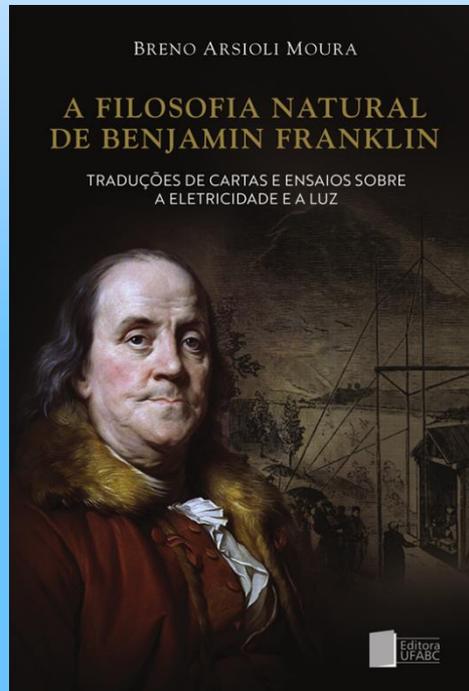
Experimento da pipa
(01 de outubro de 1752)

Nos sécs. XVIII e XIX



Benjamin Franklin (1706-1790), polímata estadunidense.

- Demonstrou que os raios são fenômenos elétricos:



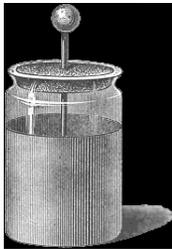
Experimento da pipa
(01 de outubro de 1752)

Nos sécs. XVIII e XIX



Benjamin Franklin (1706-1790), polímata estadunidense.

- Demonstrou que os raios são fenômenos elétricos:



Garrafa de Leiden

Experimento da pipa
(01 de outubro de 1752)

Nos sécs. XVIII e XIX

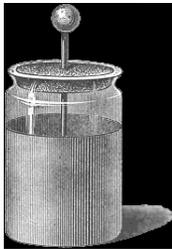


Benjamin Franklin (1706-1790), polímata estadunidense.

- Demonstrou que os raios são fenômenos elétricos;
- Inventor do pára-raios.



Experimento da pipa
(01 de outubro de 1752)



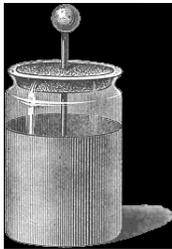
Garrafa de Leiden

Nos sécs. XVIII e XIX



Benjamin Franklin (1706-1790), polímata estadunidense.

- Demonstrou que os raios são fenômenos elétricos;
- Inventor do pára-raios;
- Identificou 2 tipos de cargas elétricas: **positiva** e **negativa**.



Garrafa de Leiden

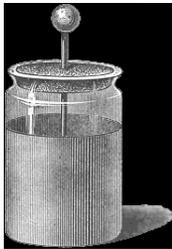
Experimento da pipa
(01 de outubro de 1752)

Nos sécs. XVIII e XIX



Benjamin Franklin (1706-1790), polímata estadunidense.

- Demonstrou que os raios são fenômenos elétricos;
- Inventor do pára-raios;
- Identificou 2 tipos de cargas elétricas: **positiva** e **negativa**;
- Cunhou o termo *bateria*.



Garrafa de Leiden

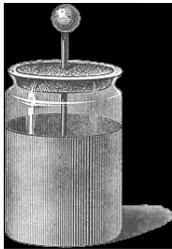
Experimento da pipa
(01 de outubro de 1752)

Nos sécs. XVIII e XIX



Benjamin Franklin (1706-1790), polímata estadunidense.

- Demonstrou que os raios são fenômenos elétricos;
- Inventor do pára-raios;
- Identificou 2 tipos de cargas elétricas: **positiva** e **negativa**;
- Cunhou o termo *bateria*;
- Estabeleceu as bases da **eletricidade** e da **meteorologia**.



Garrafa de Leiden

Experimento da pipa
(01 de outubro de 1752)

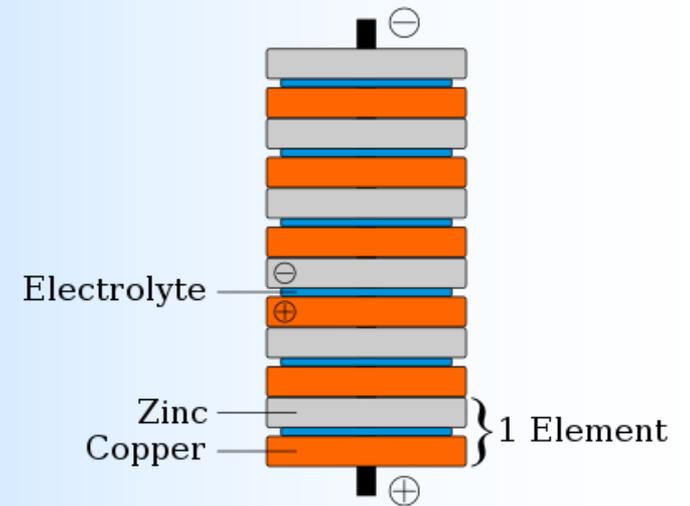
Nos sécs. XVIII e XIX



Alessandro Volta (1745 - 1827), físico italiano.



Pilha elétrica (1799).



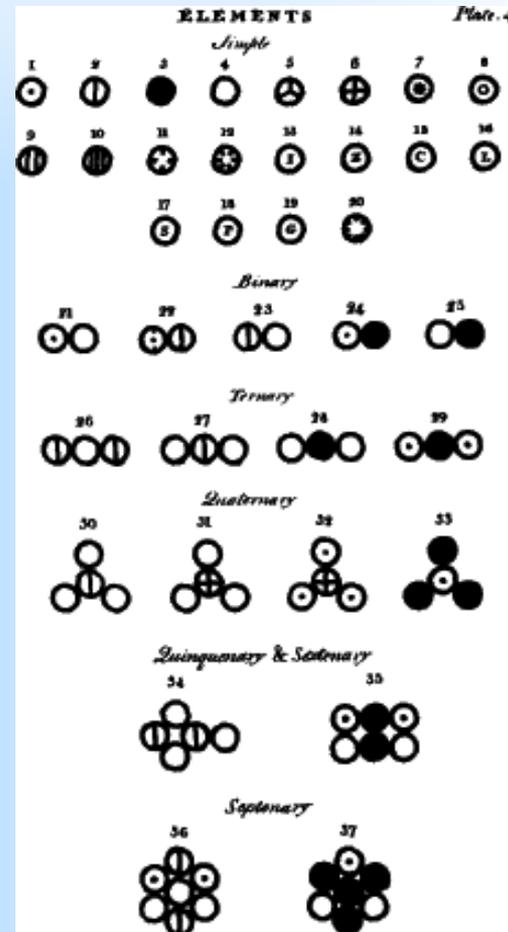
Nos sécs. XVIII e XIX

1803 Dalton estabelece uma base científica para a hipótese atomística com sua lei da composição constante: “dois elementos (A e B) que formam uma série de componentes combinam-se numa razão de pequenos números inteiros”.

CO_2 , H_2O , CO , H_2O_2 , CH_4 , C_2H_2 , ...



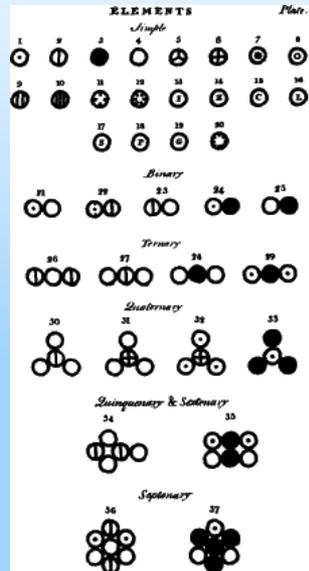
John Dalton (1766-1844)



Nos sécs. XVIII e XIX

1803 Dalton estabelece uma base científica para a hipótese atomística com sua lei da composição constante: “dois elementos (A e B) que formam uma série de componentes combinam-se numa razão de pequenos números inteiros”.

CO_2 , H_2O , CO , H_2O_2 , CH_4 , C_2H_2 , ...



John Dalton (1766-1844)

1808 Joseph-Louis Gay-Lussac: “a razão dos volumes de gases usados para produzir uma reação química é representada por pequenos números inteiros”.



Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850)

Nos sécs. XVIII e XIX

1811 Avogadro: “Sob as mesmas condições de temperatura e pressão, iguais volumes de todos os gases contêm o mesmo número de moléculas”.



Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro (1776-1856)

Nos sécs. XVIII e XIX

1811 Avogadro: “Sob as mesmas condições de temperatura e pressão, iguais volumes de todos os gases contêm o mesmo número de moléculas”.



Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro (1776-1856)

hoje: $N_A \approx 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Nos sécs. XVIII e XIX

1811 Avogadro: “Sob as mesmas condições de temperatura e pressão, iguais volumes de todos os gases contêm o mesmo número de moléculas”.



Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro (1776-1856)

$$N_A \approx 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

1865 Loschmidt obtém uma primeira aproximação do número de Avogadro, determinando o diâmetro da molécula de ar (10^{-9} m) pelo coeficiente de condensação e o livre caminho médio.



$$\text{Número de Loschmidt} = 2,686763 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

Johann Josef Loschmidt (1821-1895)

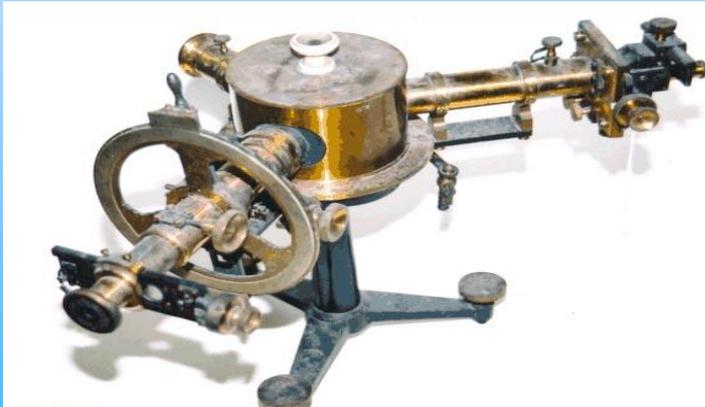
Nos sécs. XVIII e XIX

1814 Fraunhofer inventa o espectroscópio e estuda 574 linhas (escuras) do Sol, as linhas de Fraunhofer.

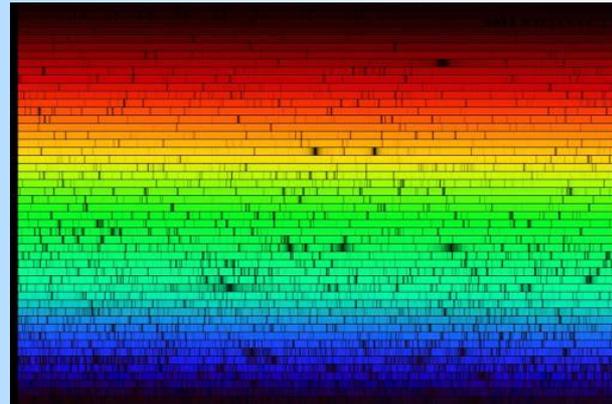


Joseph von Fraunhofer
(1787 - 1826)

Espectroscópio



Linhas de Fraunhofer do Sol



Nos sécs. XVIII e XIX

1820 O filósofo Augusto Comte afirma em seu *Curso de Filosofia Positiva* que: “podemos conhecer tudo, menos a natureza físico-química das estrelas”.



Augusto Comte
(1798 - 1857)

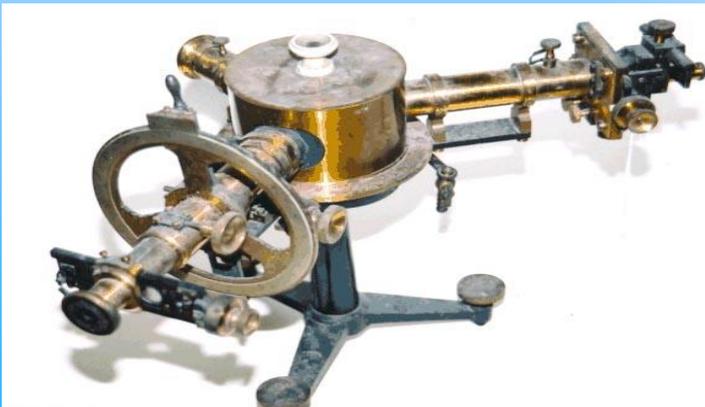
Nos sécs. XVIII e XIX

1820 O filósofo Augusto Comte afirma em seu *Curso de Filosofia Positiva* que: “podemos conhecer tudo, menos a natureza físico-química das estrelas”.

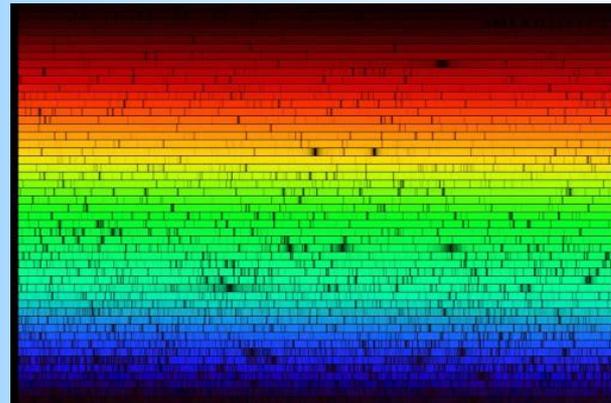


Augusto Comte
(1798 - 1857)

1814 Fraunhofer inventa o espectroscópio e estuda 574 linhas (escuras) do Sol, as linhas de Fraunhofer. Estudou também as linhas da estrela Sírius.



Espectroscópio



Linhas de Fraunhofer

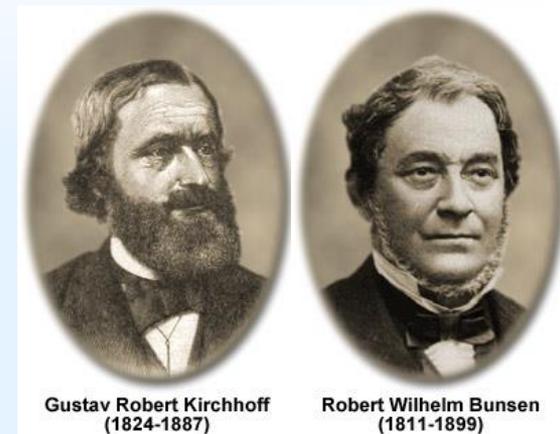


Joseph von Fraunhofer
(1787 - 1826)

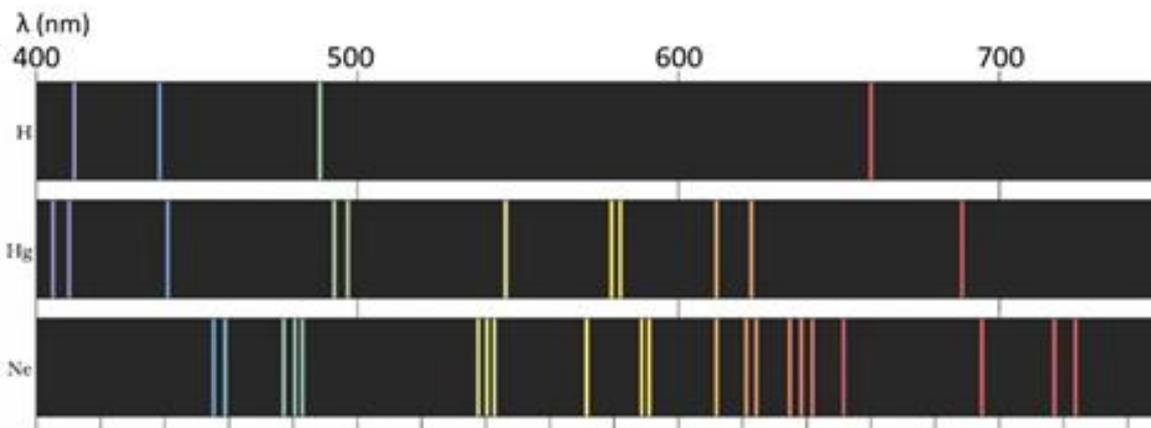
Nascimento da Astrofísica

Espectros Atômicos

1860 Kirchhoff e Bunsen acoplam um espectroscópio a um bico de Bunsen e mostram que os conjuntos diferentes de linhas estão associadas a diferentes elementos químicos:



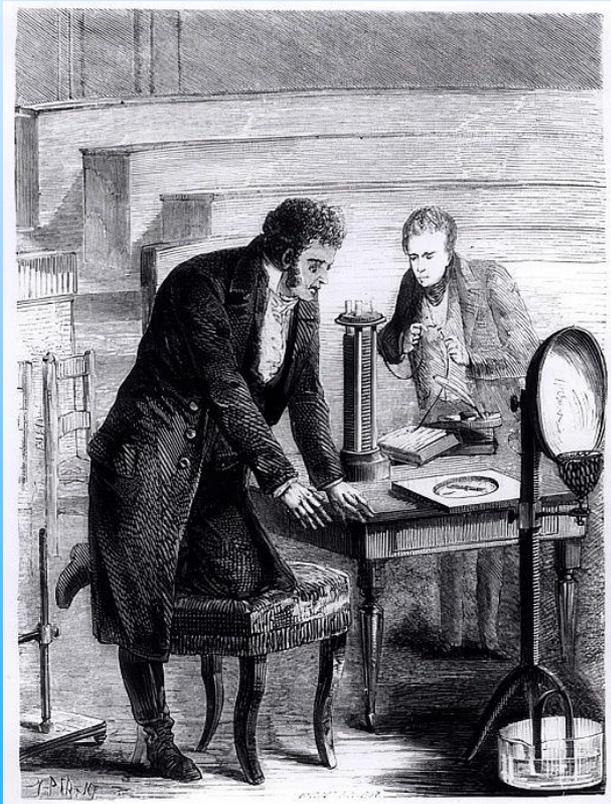
➤ as linhas são as “assinaturas”, ou as “impressões digitais” dos elementos químicos:



Nos sécs. XVIII e XIX



Hans Christian Ørsted (1777 - 1851) físico e químico dinamarquês.



Ørsted, durante a aula de 1820.



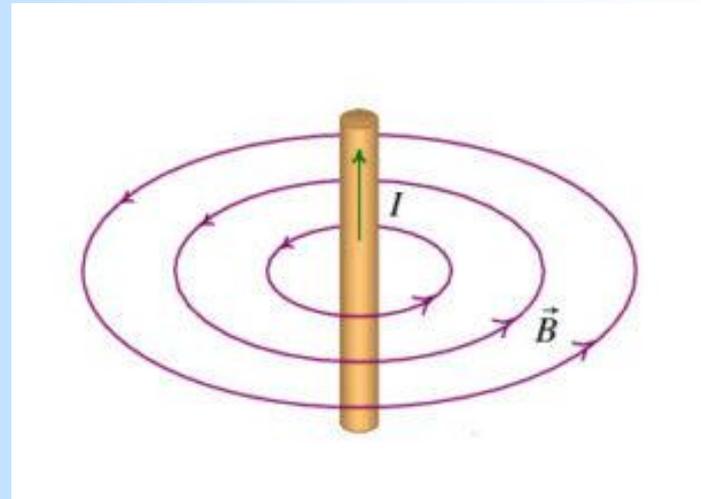
Nos sécs. XVIII e XIX



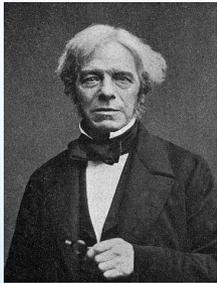
André-Marie Ampère (1775 - 1836), matemático e físico francês.

Em 1823, descobriu a **lei circuital de Ampère**:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$



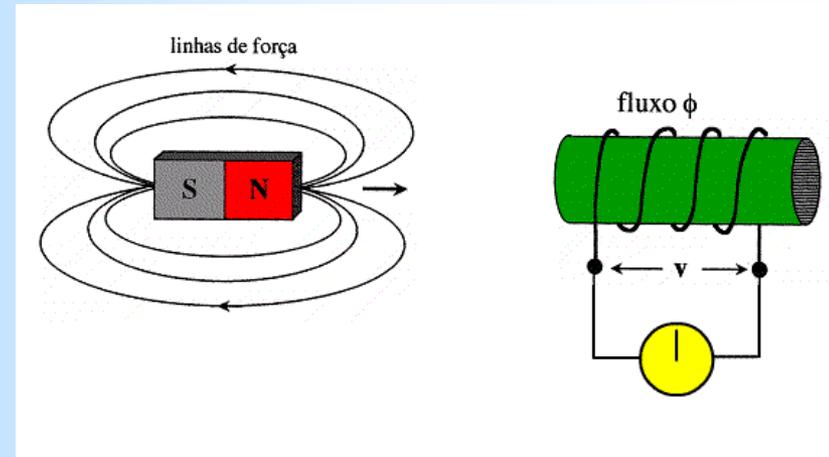
Nos sécs. XVIII e XIX



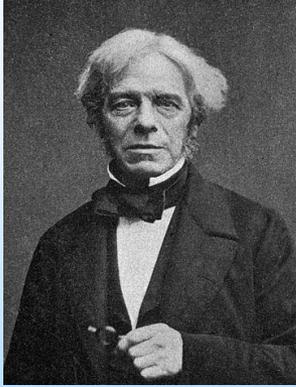
Michael Faraday (1791 - 1867), físico e químico britânico.

Em 1831, demonstrou experimentalmente a **lei da indução eletromagnética**:

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

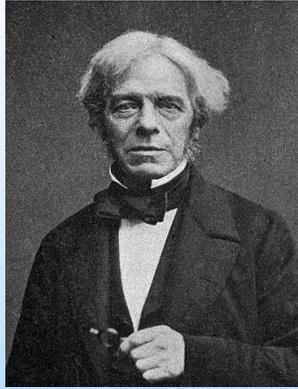


As leis da eletrólise de Faraday



Michael Faraday (1791 - 1867), físico e químico britânico.

As leis da eletrólise de Faraday



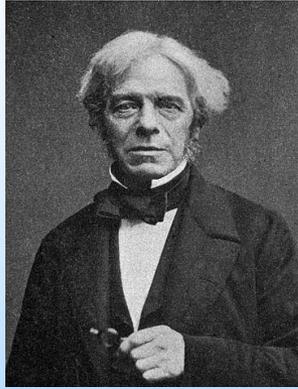
Michael Faraday (1791 - 1867), físico e químico britânico.



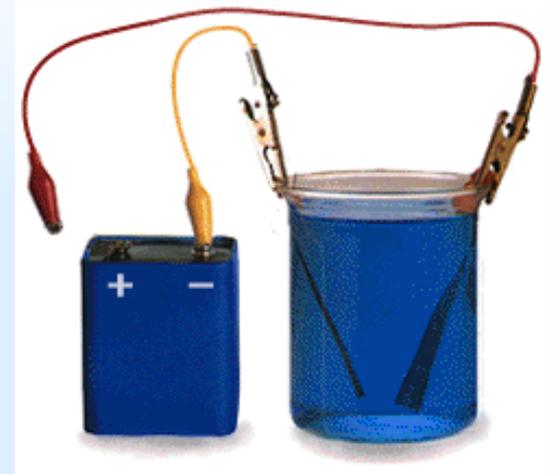
Humphry Davy (1778 - 1829), químico britânico.

As leis da eletrólise de Faraday

Em 1833, Michael Faraday descobre as **leis da eletrólise**:



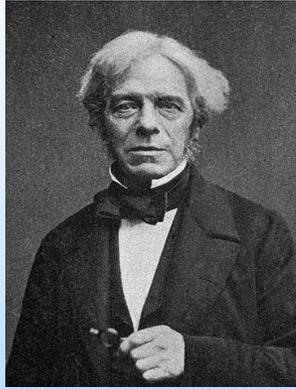
Michael Faraday (1791 - 1867), físico e químico britânico.



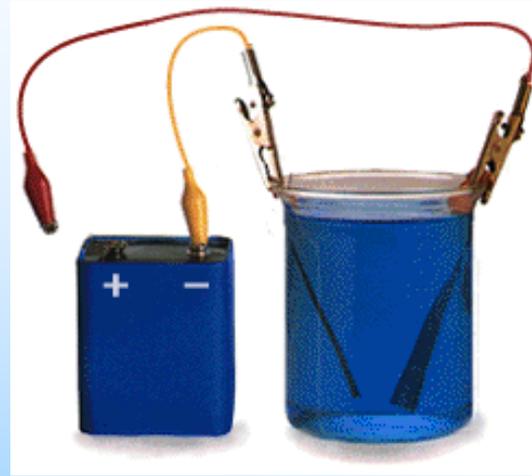
Célula eletrolítica

As leis da eletrólise de Faraday

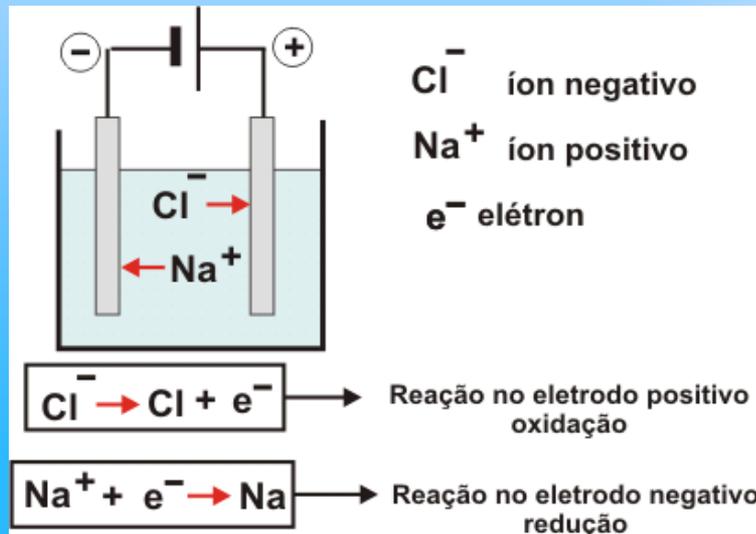
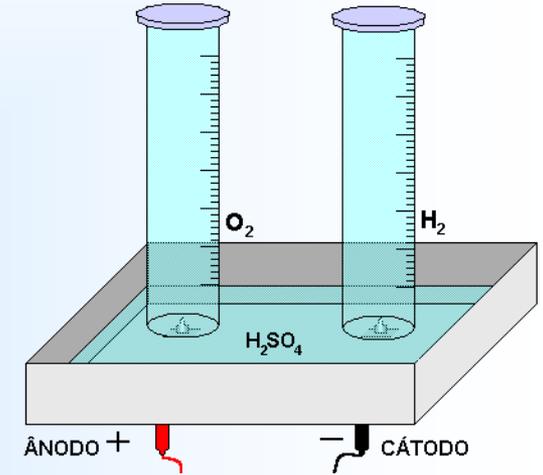
Em 1833, Michael Faraday descobre as **leis da eletrólise**:



Michael Faraday (1791 - 1867), físico e químico britânico.



Célula eletrolítica



Líquido eletrolítico ou solução eletrolítica:

- Sal (NaCl) + água (H_2O):
 $\leftarrow \text{Na}^+ \quad \text{Cl}^- \rightarrow$
- Ácido (H_2SO_4) + água (H_2O):
 $\leftarrow \text{H}^+ \quad \text{SO}_4^{--} \rightarrow$
- Base (NaOH) + água (H_2O):
 $\leftarrow \text{Na}^+ \quad \text{OH}^- \rightarrow$

As leis da eletrólise de Faraday

Definições:

1. **Equivalente eletroquímico** é o quociente entre a massa de material depositado (ou gás formado) pela carga elétrica que circula pela solução eletrolítica:

$$\varepsilon_e \equiv \frac{m}{q},$$

onde $[m] = \text{g}$ e $[q] = \text{C}$.

2. **Equivalente químico** é o quociente entre a massa molar (átomo-grama) e a valência do elemento:

$$\varepsilon_q \equiv \frac{M}{z},$$

onde $[M] = \text{g}$ e $[z] = \text{adimensional}$.



Célula eletrolítica

As leis da eletrólise de Faraday

Definições:

1. **Equivalente eletroquímico** é o quociente entre a massa de material depositado (ou gás formado) pela carga elétrica que circula pela solução eletrolítica:

$$\varepsilon_e \equiv \frac{m}{q},$$

onde $[m] = \text{g}$ e $[q] = \text{C}$.

2. **Equivalente químico** é o quociente entre a massa molar (átomo-grama) e a valência do elemento:

$$\varepsilon_q \equiv \frac{M}{z},$$

onde $[M] = \text{g}$ e $[z] = \text{adimensional}$.



Célula eletrolítica

Elemento	M(g)	z	$\varepsilon_q(\text{g})$	$\varepsilon_e(\text{g/C})$
H	1,008	1	1,008	$1,046 \cdot 10^{-5}$
O	16,00	2	8,00	$8,291 \cdot 10^{-5}$
Cl	35,46	1	35,46	$3,675 \cdot 10^{-4}$
Ni	58,69	2	29,35	$3,040 \cdot 10^{-4}$
Cu	63,57	2	31,785	$3,294 \cdot 10^{-4}$
Zn	65,38	2	32,69	$3,385 \cdot 10^{-4}$
Ag	107,88	1	107,88	$1,180 \cdot 10^{-3}$
Pb	207,20	2	103,60	$1,073 \cdot 10^{-3}$

As leis da eletrólise de Faraday

As leis:

1. Definição do equivalente eletroquímico:

$$\varepsilon_e \equiv \frac{m}{q},$$

onde $[m] = \text{g}$ e $[q] = \text{C}$.

2. O equivalente químico e o eletroquímico são proporcionais:

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_q}{F},$$

onde F é a **constante de Faraday**:

$$F = 9,647 \cdot 10^4 \text{ C/mol.}$$



Célula eletrolítica

Elemento	M(g)	z	ε_q (g)	ε_e (g/C)
H	1,008	1	1,008	$1,046 \cdot 10^{-5}$
O	16,00	2	8,00	$8,291 \cdot 10^{-5}$
Cl	35,46	1	35,46	$3,675 \cdot 10^{-4}$
Ni	58,69	2	29,35	$3,040 \cdot 10^{-4}$
Cu	63,57	2	31,785	$3,294 \cdot 10^{-4}$
Zn	65,38	2	32,69	$3,385 \cdot 10^{-4}$
Ag	107,88	1	107,88	$1,180 \cdot 10^{-3}$
Pb	207,20	2	103,60	$1,073 \cdot 10^{-3}$

As leis da eletrólise de Faraday

Note que para o hidrogênio:

$$\varepsilon_e = \frac{m}{q} = 1,046 \cdot 10^{-5} \text{g/C}$$



Célula eletrolítica

Elemento	M(g)	z	ε_q (g)	ε_e (g/C)
H	1,008	1	1,008	1,046 · 10 ⁻⁵
O	16,00	2	8,00	8,291 · 10 ⁻⁵
Cl	35,46	1	35,46	3,675 · 10 ⁻⁴
Ni	58,69	2	29,35	3,040 · 10 ⁻⁴
Cu	63,57	2	31,785	3,294 · 10 ⁻⁴
Zn	65,38	2	32,69	3,385 · 10 ⁻⁴
Ag	107,88	1	107,88	1,180 · 10 ⁻³
Pb	207,20	2	103,60	1,073 · 10 ⁻³

As leis da eletrólise de Faraday

Note que para o hidrogênio:

$$\varepsilon_e = \frac{m}{q} = 1,046 \cdot 10^{-5} \text{g/C} \Rightarrow \left(\frac{q}{m}\right)_{\text{H}^+} = 9,5602 \cdot 10^4 \text{C/g}$$

que é chamada de **razão carga-massa** (do hidrogênio, neste caso).



Célula eletrolítica

Elemento	M(g)	z	ε_q (g)	ε_e (g/C)
H	1,008	1	1,008	1,046·10 ⁻⁵
O	16,00	2	8,00	8,291·10 ⁻⁵
Cl	35,46	1	35,46	3,675·10 ⁻⁴
Ni	58,69	2	29,35	3,040·10 ⁻⁴
Cu	63,57	2	31,785	3,294·10 ⁻⁴
Zn	65,38	2	32,69	3,385·10 ⁻⁴
Ag	107,88	1	107,88	1,180·10 ⁻³
Pb	207,20	2	103,60	1,073·10 ⁻³

As leis da eletrólise de Faraday

Note que para o hidrogênio:

$$\varepsilon_e = \frac{m}{q} = 1,046 \cdot 10^{-5} \text{g/C} \Rightarrow \boxed{\left(\frac{q}{m}\right)_{\text{H}^+} = 9,5602 \cdot 10^4 \text{C/g}}$$

que é chamada de **razão carga-massa** (do hidrogênio, neste caso).

Da 2ª lei de Faraday:

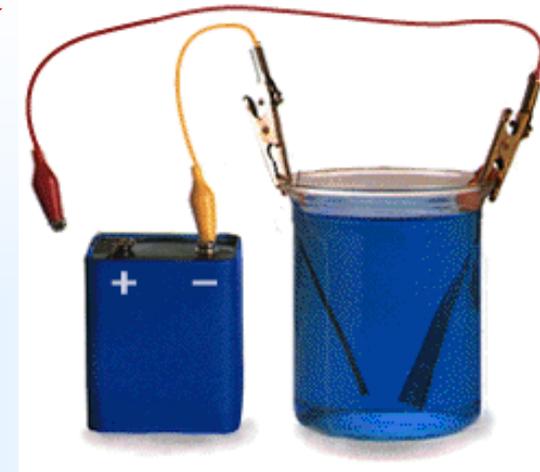
$$\varepsilon_q = F \varepsilon_e \Rightarrow \frac{M}{z} = F \frac{m}{q} \Rightarrow$$

$$q = Fz \left(\frac{m}{M}\right) = Fz \left(\frac{n_i}{N_A}\right) = n_i \left(\frac{Fz}{N_A}\right)$$

Se estivermos considerando um átomo monovalente, como o de hidrogênio ($z=1$), vem:

$$q = n_i \left(\frac{F}{N_A}\right) = n_i \left(\frac{N_A \cdot e}{N_A}\right) = n_i \cdot e \Rightarrow \boxed{q = n_i \cdot e}$$

que é uma **lei de quantização**, isto é, as cargas só podem assumir valores múltiplos de um valor fundamental e .



Célula eletrolítica

Elemento	M(g)	z	ε_q (g)	ε_e (g/C)
H	1,008	1	1,008	1,046·10 ⁻⁵
O	16,00	2	8,00	8,291·10 ⁻⁵
Cl	35,46	1	35,46	3,675·10 ⁻⁴
Ni	58,69	2	29,35	3,040·10 ⁻⁴
Cu	63,57	2	31,785	3,294·10 ⁻⁴
Zn	65,38	2	32,69	3,385·10 ⁻⁴
Ag	107,88	1	107,88	1,180·10 ⁻³
Pb	207,20	2	103,60	1,073·10 ⁻³

As leis da eletrólise de Faraday

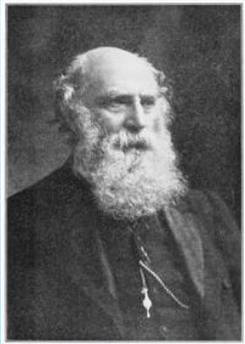
Para um átomo monovalente:

$$q = n_i \cdot e$$

que é uma **lei de quantização**, isto é, as cargas só podem assumir valores múltiplos de um valor fundamental e .



Célula eletrolítica



- Em 1874, Stoney propôs a **unidade fundamental da eletricidade**, posteriormente, chamando-a de *elétron* (1891);
- Stoney estimou a carga do elétron em: $e \approx 10^{-20}$ C.

George Johnstone Stoney (1826 - 1911), físico irlandês.

Eletromagnetismo (século XIX)



James Clerk Maxwell (1831 - 1879), físico e matemático britânico.

Em 1864, deduziu as **equações de Maxwell**:

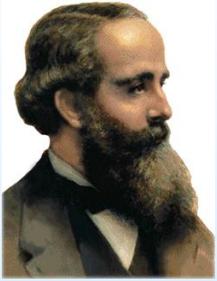
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

Eletromagnetismo (século XIX)



James Clerk Maxwell (1831 - 1879), físico e matemático britânico.

Em 1864, deduziu as **equações de Maxwell**:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

$$\varepsilon = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

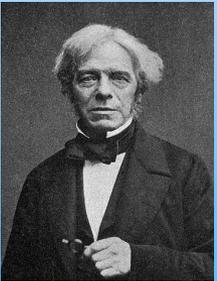
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$$

\Rightarrow



Eletromagnetismo (século XIX)

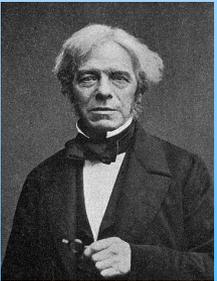


James Clerk Maxwell (1831 - 1879), físico e matemático britânico.



Em 1864, deduziu as **equações de Maxwell**:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$$



$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$



$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

\Rightarrow

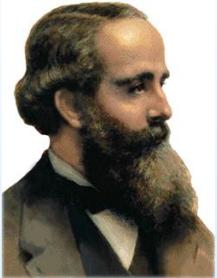
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{j} + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

Eletromagnetismo (século XIX)



James Clerk Maxwell (1831 - 1879), físico e matemático britânico.

Em 1864, deduziu as **equações de Maxwell** e as equações das **ondas eletromagnéticas**:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

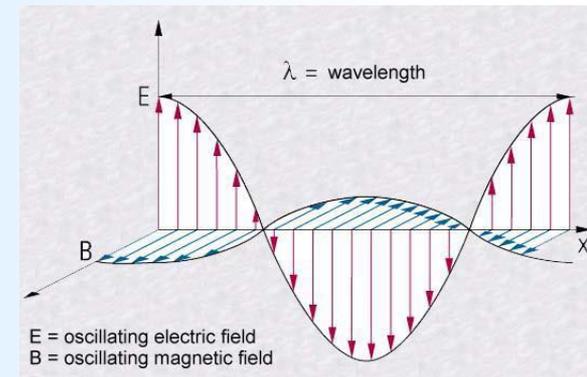
$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

\Rightarrow

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$



Eletromagnetismo (século XIX)



James Clerk Maxwell (1831 - 1879), físico e matemático britânico.

Em 1864, deduziu as **equações de Maxwell** e as equações das **ondas eletromagnéticas**:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

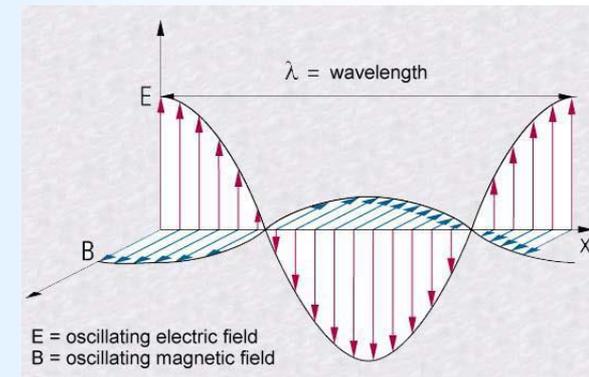
$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

\Rightarrow

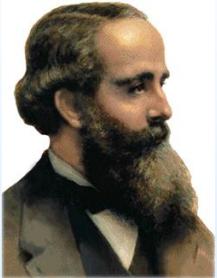
$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$



onde: $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Eletromagnetismo (século XIX)



James Clerk Maxwell (1831 - 1879), físico e matemático britânico.

Em 1864, deduziu as **equações de Maxwell** e as equações das **ondas eletromagnéticas**:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

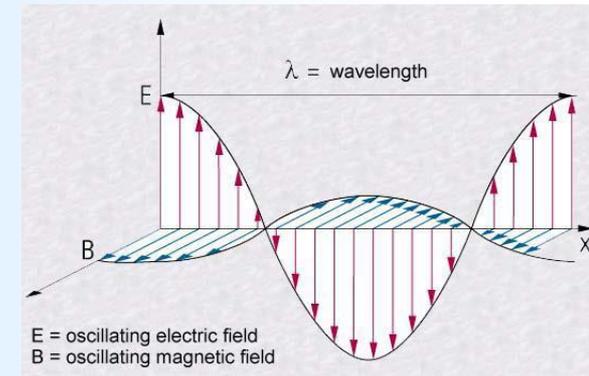
$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

\Rightarrow

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

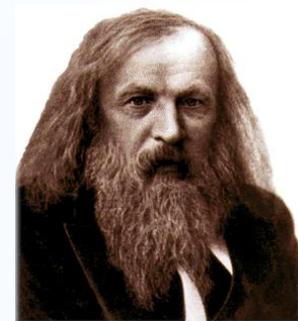
$$\nabla^2 \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$



onde: $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Química (século XIX)

1869 Dmitri Mendeleev montou uma tabela com as propriedades periódicas dos 63 elementos conhecidos.



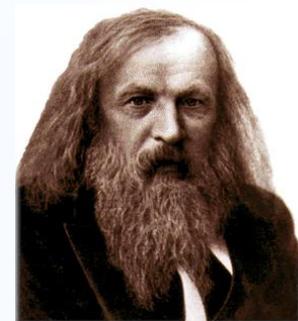
Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907)

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

		Tl = 50	Zr = 90	? = 180.
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.
		Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
	Ni = 59	Co = 59	Pt = 106,6	Os = 199.
H = 1		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137
		? = 45	Ce = 92	Pb = 207.
		?Er = 56	La = 94	
		?Yt = 60	Di = 95	
		?In = 75,6	Th = 118?	

Química (século XIX)

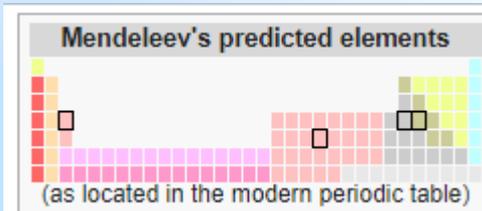
1869 Dmitri Mendeleev montou uma tabela com as propriedades periódicas dos 63 elementos conhecidos.



Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907)

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

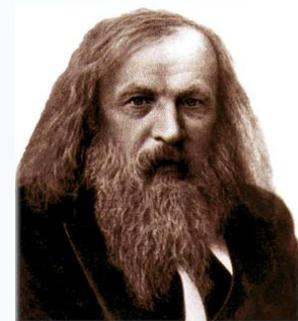
			Tl = 50	Zr = 90	? = 180.
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pd = 106,6	Os = 199.
H = 1			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112		
B = 11	Al = 27,4	? = 68	U = 116	Au = 197?	
C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118		
N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?	
O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?		
F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127		
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		



Property		Eka-aluminium	Gallium
Atomic mass		68	69.723
Density (g/cm ³)		6.0	5.91
Melting point (°C)		Low	29.76
Oxide	Formula	Ea ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃
	Density	5.5 g/cm ³	5.88 g/cm ³
	Solubility	Soluble in both alkalis and acids	
Chloride	Formula	Ea ₂ Cl ₆	Ga ₂ Cl ₆
	Volatility	Volatile	Volatile

Química (século XIX)

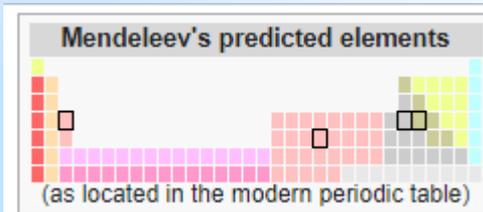
1869 Dmitri Mendeleev montou uma tabela com as propriedades periódicas dos 63 elementos conhecidos.



Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907)

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

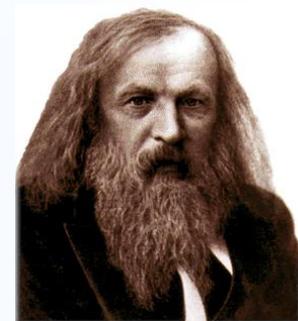
		Тl = 50	Zr = 90	? = 180.	
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182.	
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.	
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.	
		Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198	
		Ni = Co = 59	Pt = 106,6	Os = 199.	
H = 1		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200	
Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112		
B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?	
C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118		
N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?	
O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?		
F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127		
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yl = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		



Property		Eka-silicon	Germanium
Atomic mass		72	72.630
Density (g/cm ³)		5.5	5.323
Melting point (°C)		High	938
Color		Grey	Grey
Oxide	Type	Refractory dioxide	
	Density (g/cm ³)	4.7	4.228
	Activity	Feebly basic	Feebly basic
Chloride	Boiling point	Under 100 °C	86.5 °C (GeCl ₄)
	Density (g/cm ³)	1.9	1.879

Química (século XIX)

1869 Dmitri Mendeleev montou uma tabela com as propriedades periódicas dos 63 elementos conhecidos.



Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907)

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

		Tl = 50	Zr = 90	? = 180.
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.
		Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198.
		Ni = 59	Co = 59	Pd = 106,6
		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
H = 1				
Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
B = 11	Al = 27,4	? = 68	U = 116	Au = 197?
C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137
		? = 45	Ce = 92	Pb = 207.
		?Er = 56	La = 94	
		?Yt = 60	Di = 95	
		?In = 75,6	Th = 118?	

$m_{Cl} = 35,5?$

Radiação de corpo negro

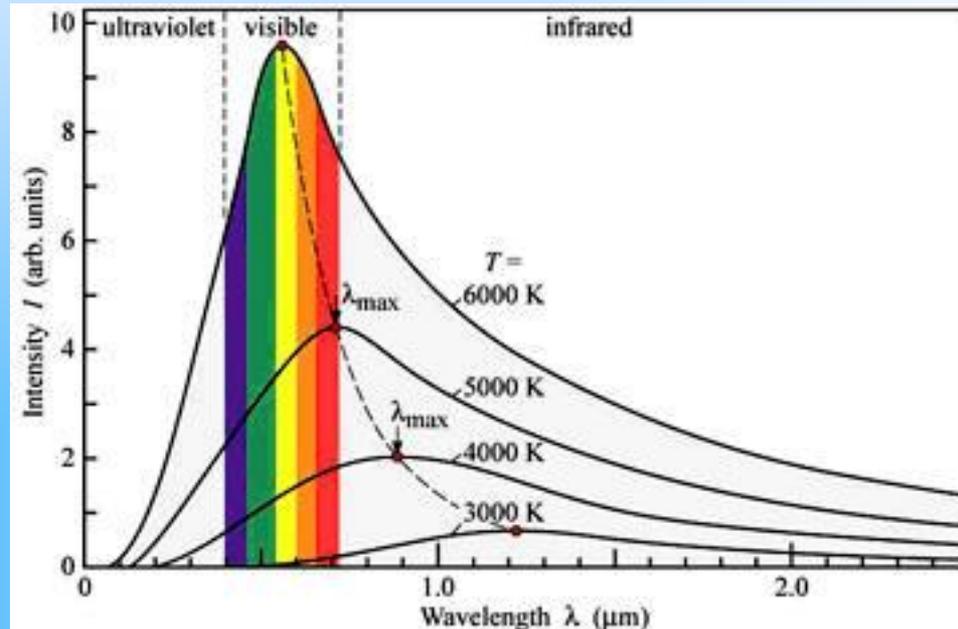
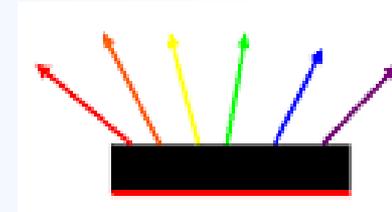
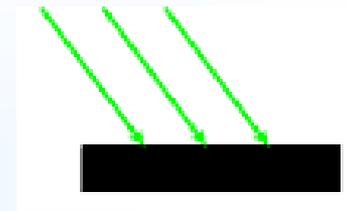


Emissão de *radiação térmica* por objetos opacos.

Radiação de corpo negro

Corpo negro (ideal):

- absorve toda a radiação incidente (sem refletir):
- quando aquecido emite radiação somente como resultado das vibrações térmicas de seus átomos:



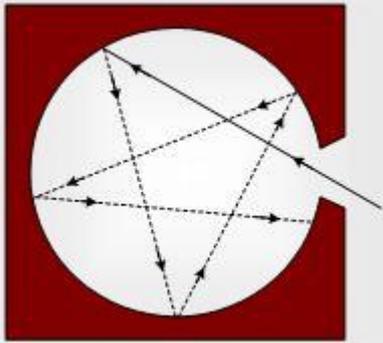
Espectro de corpo negro: **contínuo**.

Radiação de corpo negro

1860 Gustav Kirchhoff sugere que um orifício numa cavidade aquecida à temperatura uniforme deve ter espectro de corpo negro:



Gustav Robert Kirchhoff
(1824-1887)



$R(\lambda) = \left(\frac{c}{4}\right) u(\lambda)$, onde $u(\lambda)$ é a densidade de energia.

Radiação de corpo negro



Ludwig Eduard Boltzmann
(1844-1906)

1879 Stefan descobre experimentalmente:

1884 Boltzmann deduz teoricamente:



Joseph Stefan (1835-1893)

Lei de Stefan-Boltzmann:

$$R = \sigma T^4, \quad \text{onde } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \text{ é a constante de Stefan-Boltzmann}$$

A taxa de emissão de radiação por unidade de área (potência por unidade de área) de objetos aquecidos é proporcional à quarta potência da temperatura.

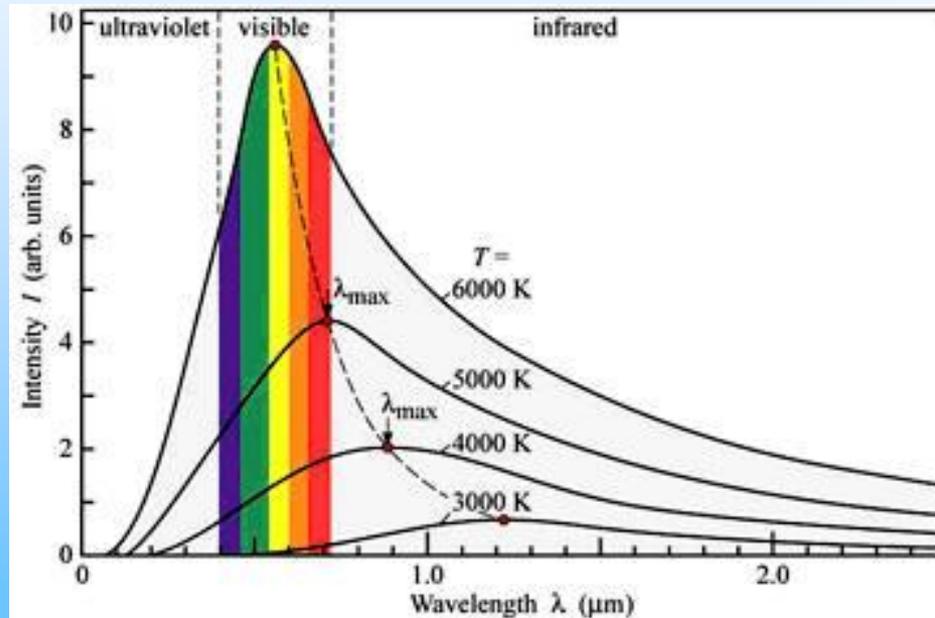
Radiação de corpo negro



Wilhelm Wien
(1864-1928)

1893 Wien formula a lei do deslocamento:

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898[\text{m} \cdot \text{K}]}{T}$$



$$T_1 > T_2 > T_3 \Rightarrow \lambda_1^{\max} < \lambda_2^{\max} < \lambda_3^{\max}$$

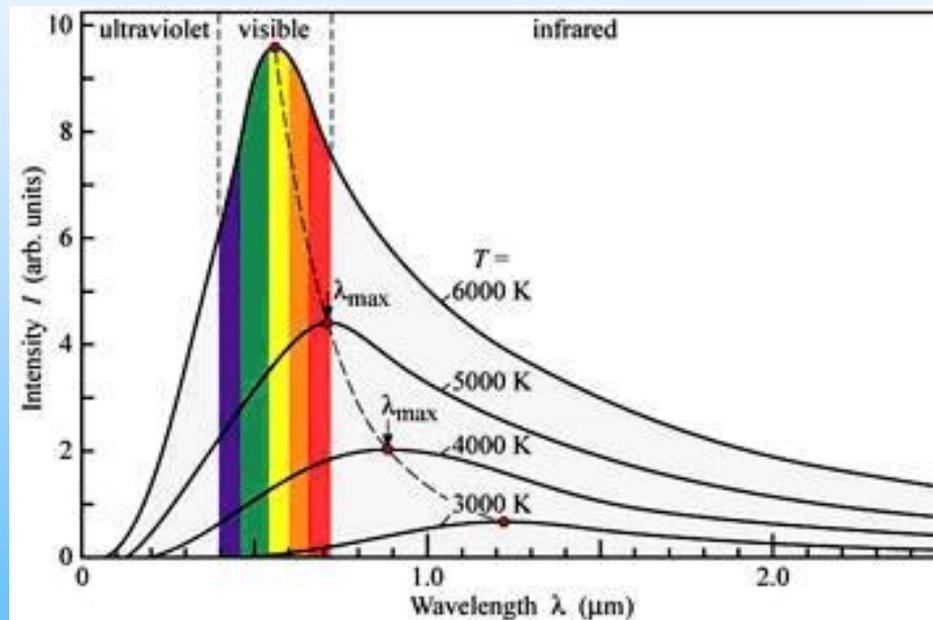
Radiação de corpo negro



Wilhelm Wien
(1864-1928)

1893 Wien formula a lei do deslocamento:

$$\lambda^{\max} = \frac{0,002898[\text{m} \cdot \text{K}]}{T}$$



$$T_1 > T_2 > T_3 \Rightarrow \lambda_1^{\max} < \lambda_2^{\max} < \lambda_3^{\max}$$

branco - azulado ← amarelo ← laranja ← vermelho ← infravermelho

Radiação de corpo negro

1893 Wien formula a lei do deslocamento:

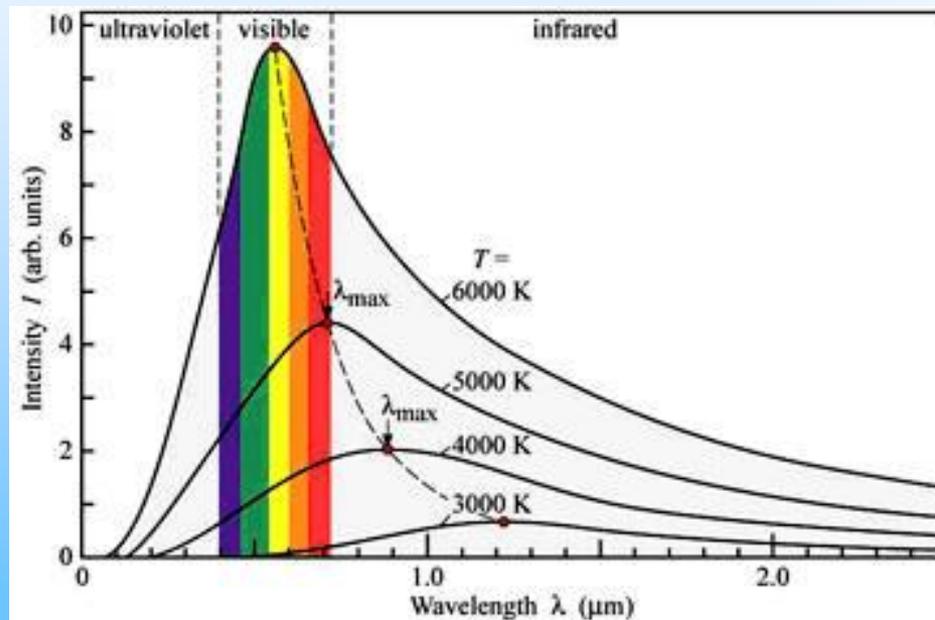
$$\lambda_{\max} = \frac{0,002898[\text{m} \cdot \text{K}]}{T}$$



Wilhelm Wien
(1864-1928)



1911

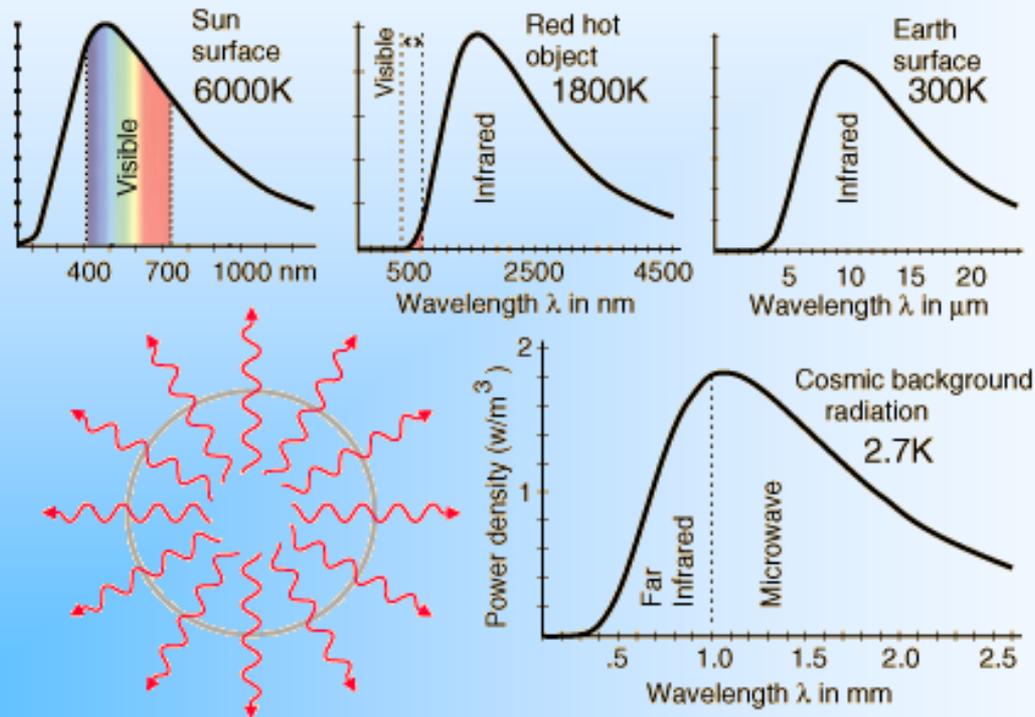


$$T_1 > T_2 > T_3 \Rightarrow \lambda_1^{\max} < \lambda_2^{\max} < \lambda_3^{\max}$$

branco - azulado ← amarelo ← laranja ← vermelho ← infravermelho

Radiação de corpo negro

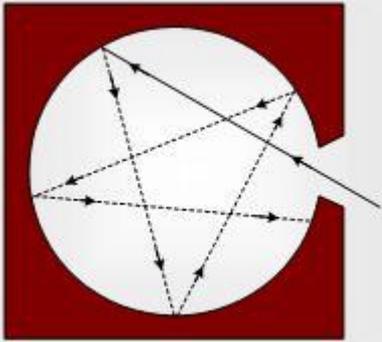
Note agora os comprimentos de onda da máxima emissão (λ^{\max}):



Observamos que: $\lambda^{\max} \propto \frac{1}{T}$

Radiação de corpo negro

1860 Gustav Kirchhoff sugere que um orifício numa cavidade aquecida à temperatura uniforme deve ter espectro de corpo negro:

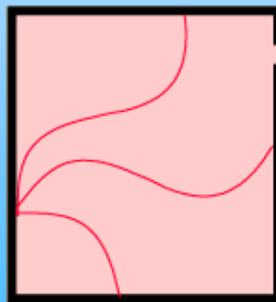


$R(\lambda) = \left(\frac{c}{4}\right) u(\lambda)$, onde $u(\lambda)$ é a densidade de energia.



Gustav Robert Kirchhoff
(1824-1887)

Fazendo-se uma contagem dos modos de ondas estacionárias,



Number of modes
per unit frequency
per unit volume

$$\frac{8\pi\nu^2}{c^3}$$

For higher frequencies
you can fit more modes
into the cavity. For
double the frequency,
four times as many
modes.



Lord Rayleigh (John Strutt)
(1842-1919)



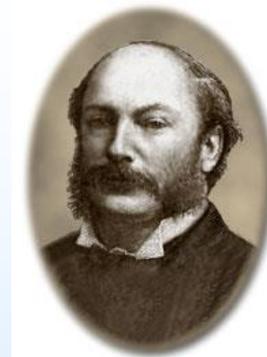
James Jeans
(1877-1946)

vem: $u(\lambda) = n(\lambda)kT = \frac{8\pi kT}{\lambda^4}$, que é a fórmula de Rayleigh & Jeans (**1900-1905**).

Radiação de corpo negro

Mas a fórmula de Rayleigh & Jeans tinha um probleminha ...

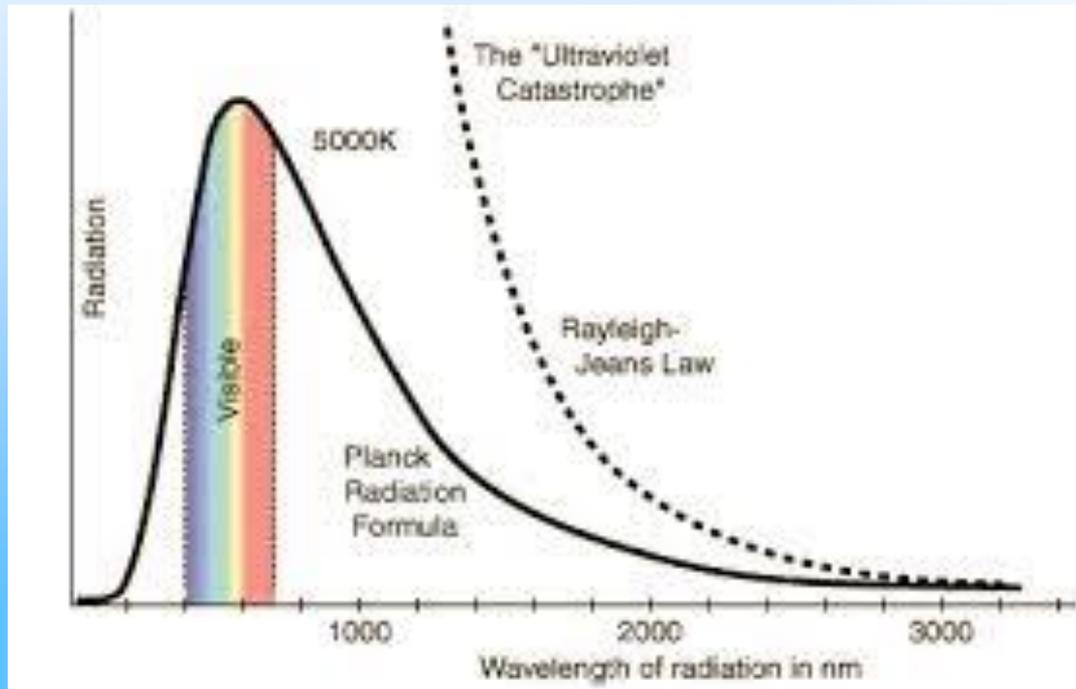
$$u(\lambda) = \frac{8\pi kT}{\lambda^4}$$



Lord Rayleigh (John Strutt)
(1842-1919)



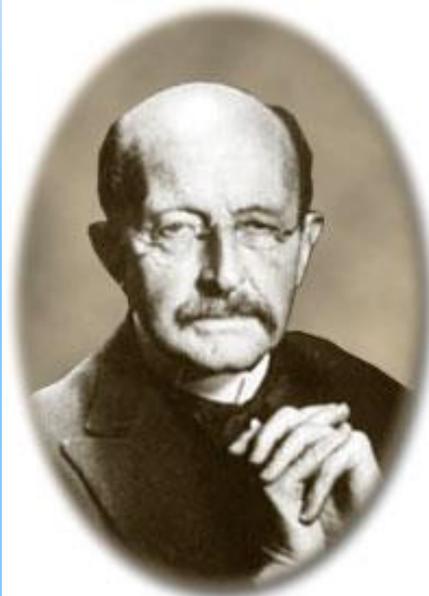
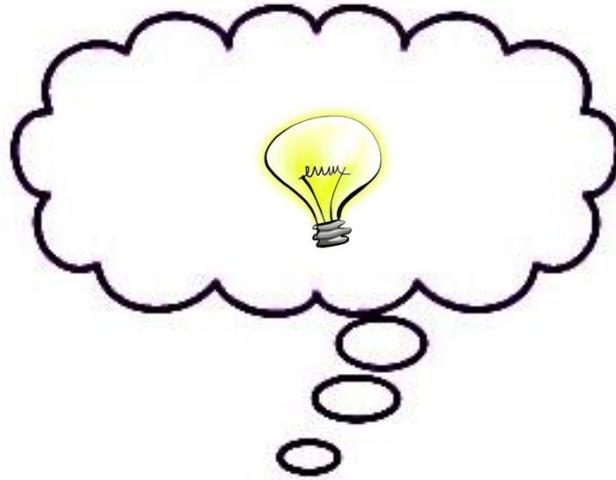
James Jeans



A catástrofe do ultravioleta!

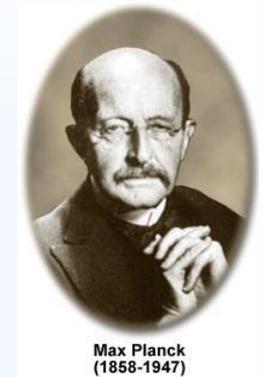
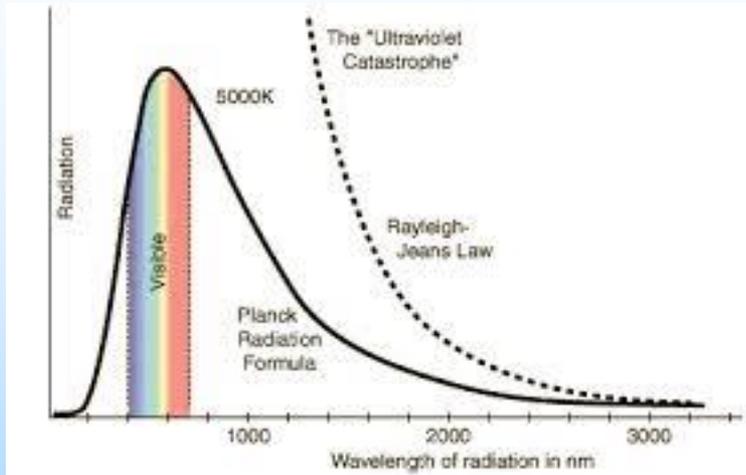
► Por que a radiação emitida pelos metais aquecidos deve ser infinita de acordo com a física clássica?

A ideia de Planck



Max Planck
(1858-1947)

Radiação de corpo negro



$$\langle E \rangle = \int E \cdot p(E) dE \rightarrow \langle E \rangle = \sum_n E_n \cdot p_n(E)$$

Hipótese do quantum de energia:

As moléculas vibrantes somente podem ter valores de energia **quantizados** (discretos):

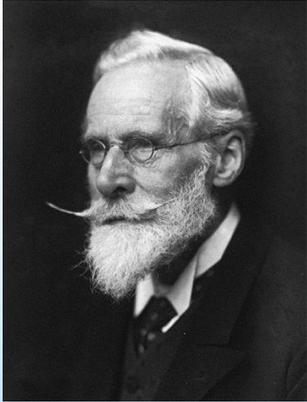
$$E_n = n(hf),$$

onde f é a frequência, n o número quântico e h a constante de Planck:

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$$

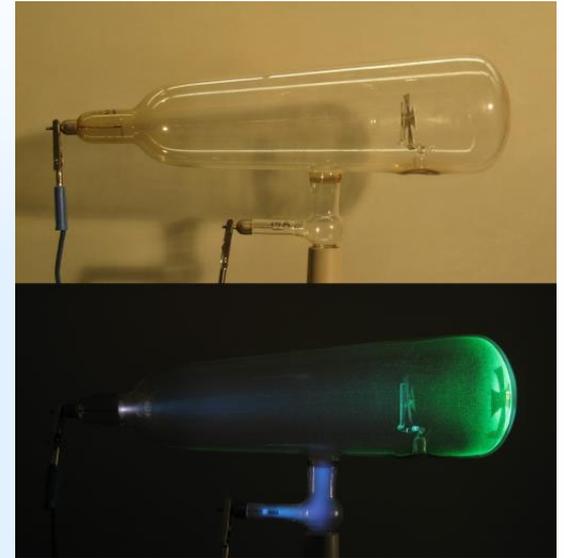
O experimento de Thomson

O experimento de Thomson

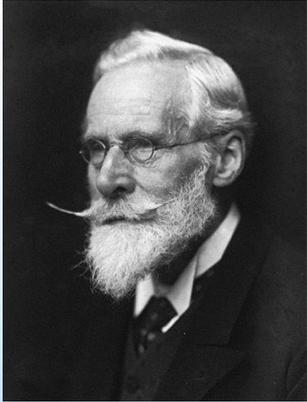


William Crookes (1826 - 1911),
físico e químico britânico.

Em 1875, Sir William Crookes desenvolveu o **tubo de Crookes**, ou **tubo de raios catódicos**.



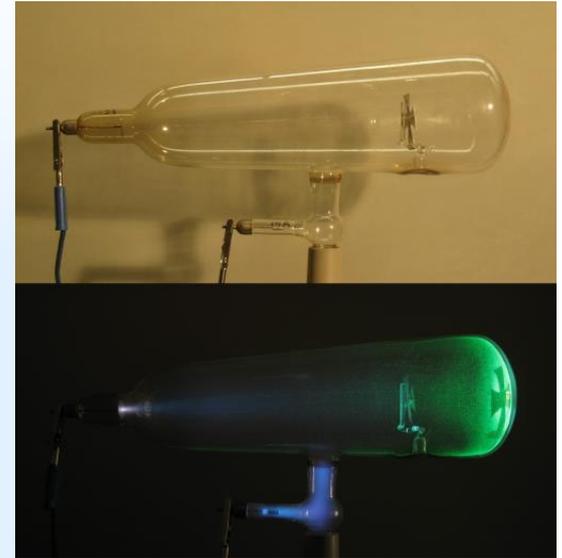
O experimento de Thomson



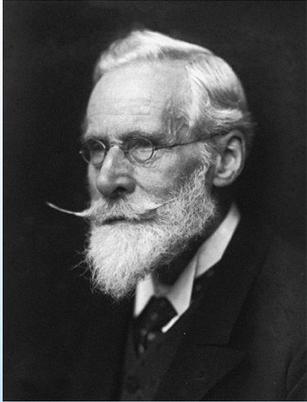
William Crookes (1826 - 1911),
físico e químico britânico.

Em 1875, Sir William Crookes desenvolveu o **tubo de Crookes**, ou **tubo de raios catódicos**.

- **Raios catódicos:** emitidos pelo terminal negativo (**cátodo**)
- Produziam calor e fosforescência
- Propagam-se em linha reta, exceto sob a ação de um campo magnético



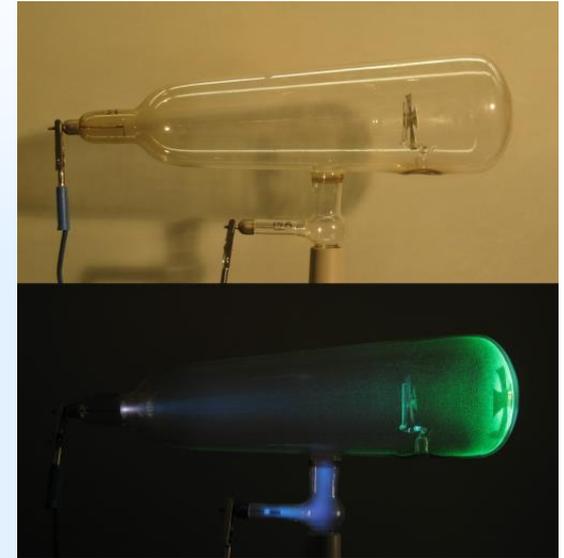
O experimento de Thomson



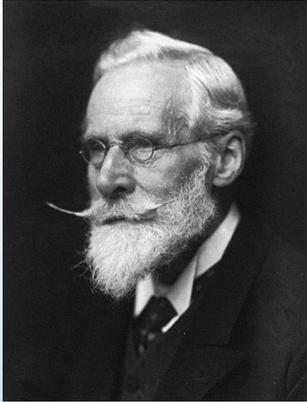
William Crookes (1826 - 1911), físico e químico britânico.

Em 1875, Sir William Crookes desenvolveu o **tubo de Crookes**, ou **tubo de raios catódicos**.

- **Raios catódicos**: emitidos pelo terminal negativo (**cátodo**)
- Produziam calor e fosforescência
- Propagam-se em linha reta, exceto sob a ação de um campo magnético
- Qual a natureza: **radiação** x **matéria**?



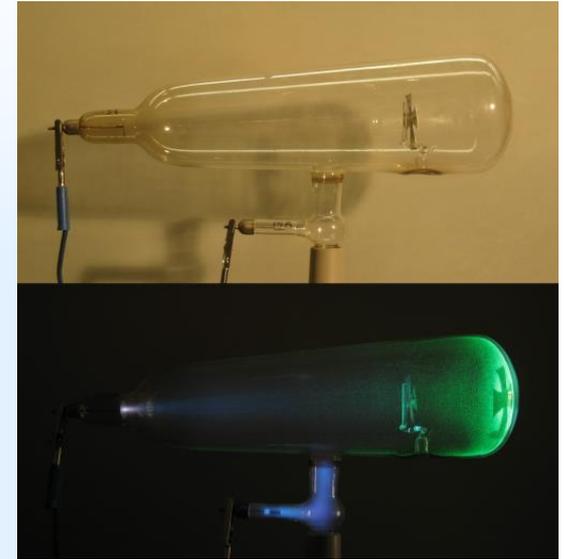
O experimento de Thomson



William Crookes (1826 - 1911), físico e químico britânico.

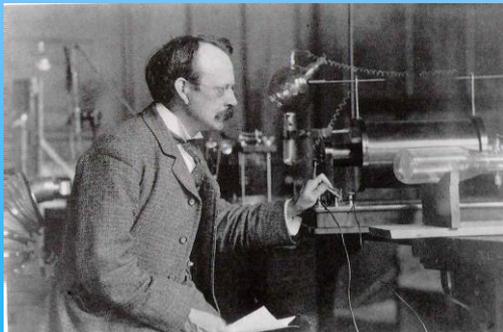
Em 1875, Sir William Crookes desenvolveu o **tubo de Crookes**, ou **tubo de raios catódicos**.

- **Raios catódicos**: emitidos pelo terminal negativo (**cátodo**)
- Produziam calor e fosforescência
- Propagam-se em linha reta, exceto sob a ação de um campo magnético
- Qual a natureza: **radiação** x **matéria**?



Em 1897, no Laboratório Cavendish da Universidade de Cambridge, o Prof. Thomson estudou os raios catódicos sob uma configuração especial de campos elétricos e magnéticos e mediu a

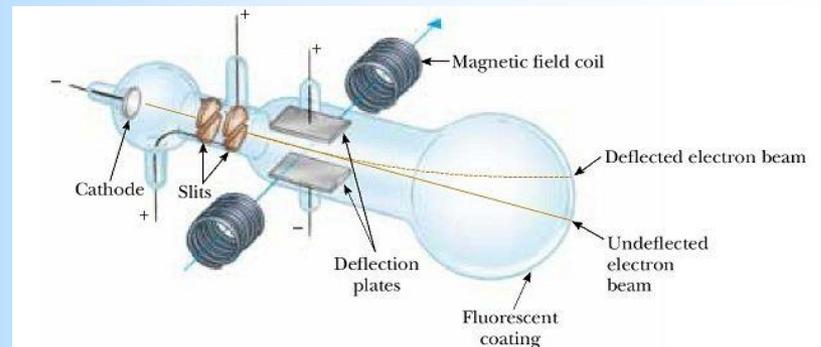
razão carga-massa do elétron: $\left(\frac{q}{m}\right)_{e^-} = 1,759 \cdot 10^8 \text{C/g}$.



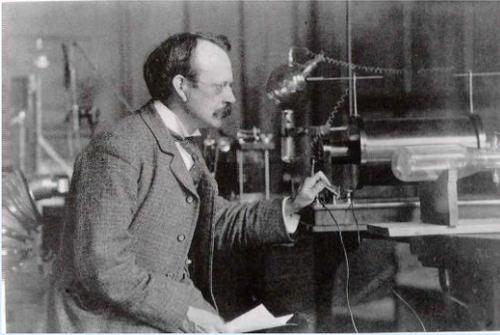
Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



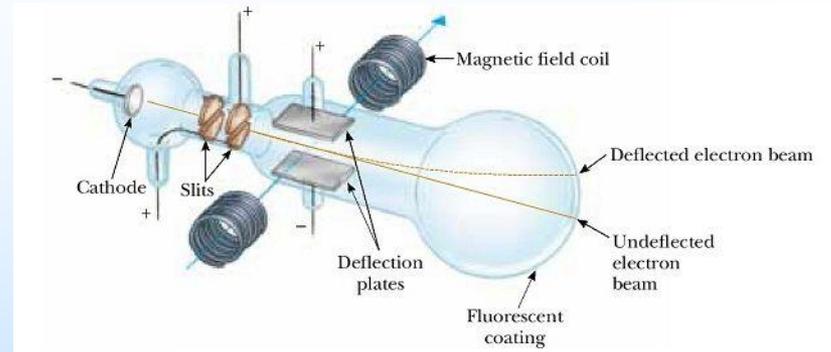
1906



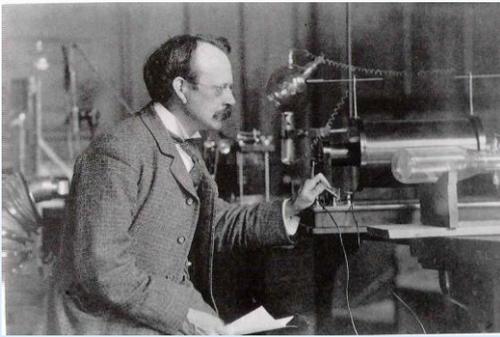
O experimento de Thomson



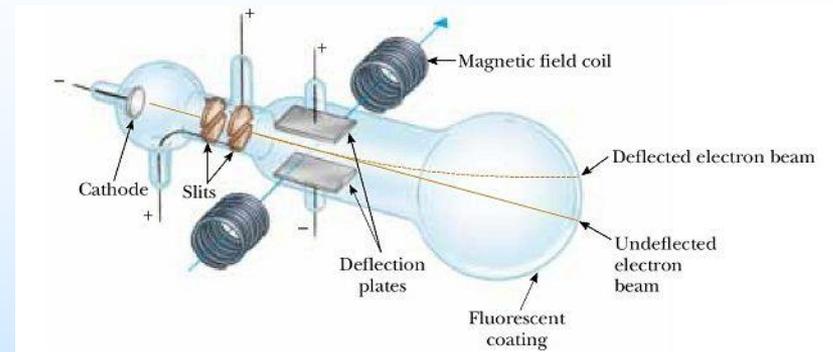
Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



O experimento de Thomson



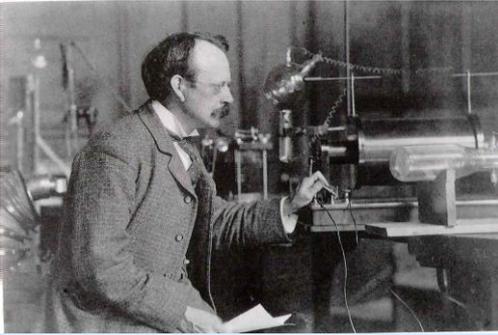
Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



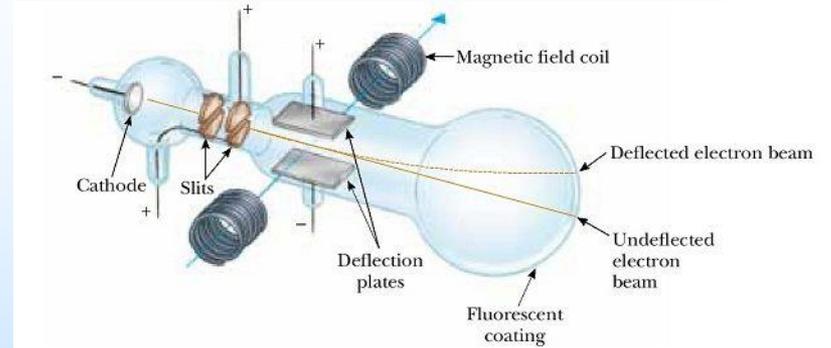
- A força elétrica no capacitor é:

$$F_E = qE$$

O experimento de Thomson

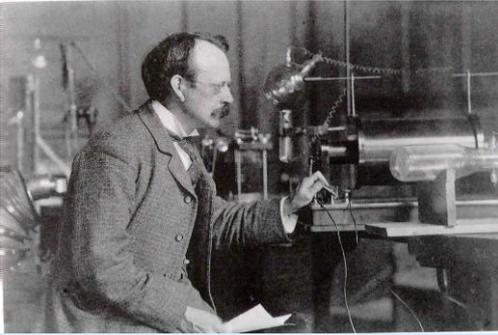


Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.

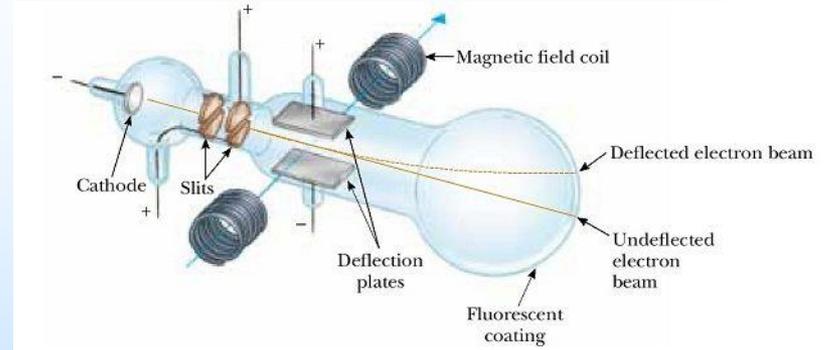


- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.

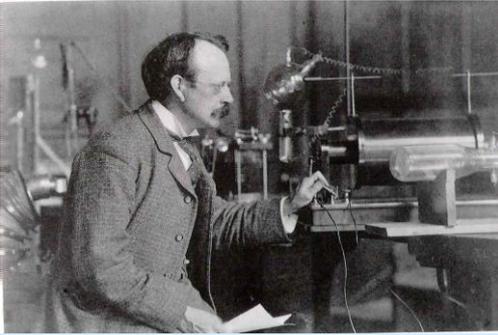


- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

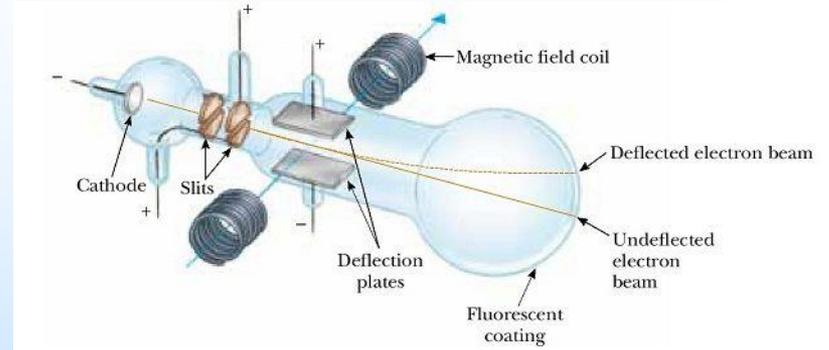
1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

$$F_E = F_B$$

O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.

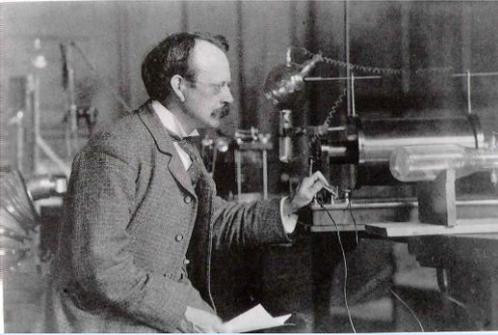


- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

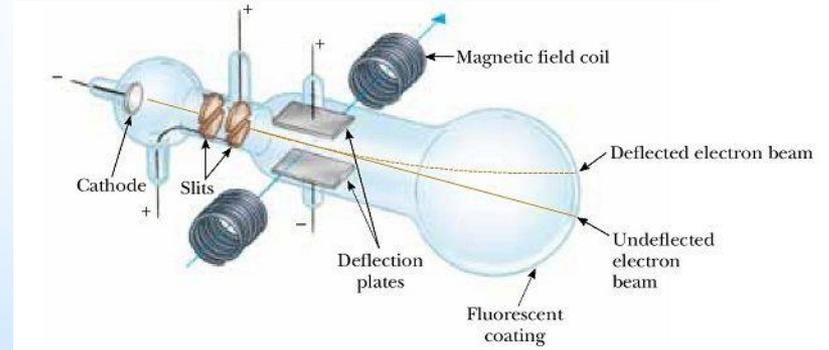
1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

$$F_E = F_B \Rightarrow qE = qvB$$

O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



- A força elétrica no capacitor é:
- A força magnética no solenóide é:

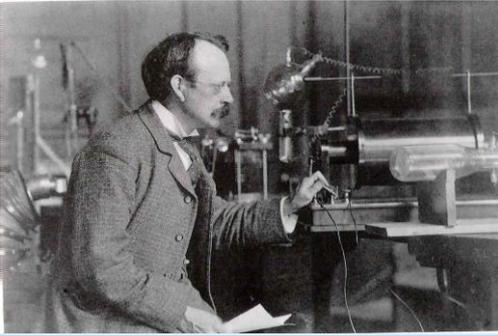
$$F_E = qE$$

$$F_B = qvB$$

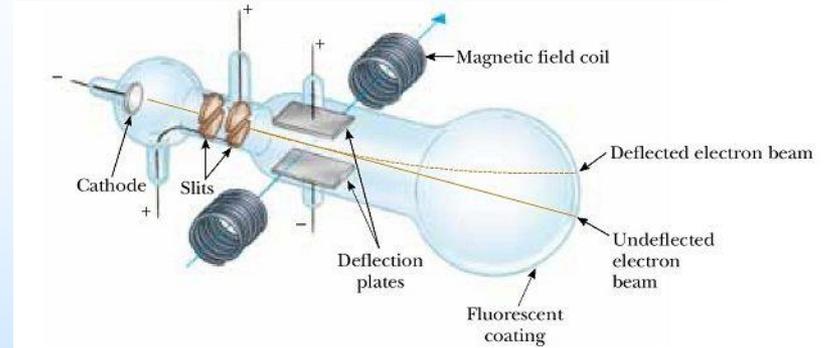
1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

$$F_E = F_B \Rightarrow qE = qvB$$

O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.

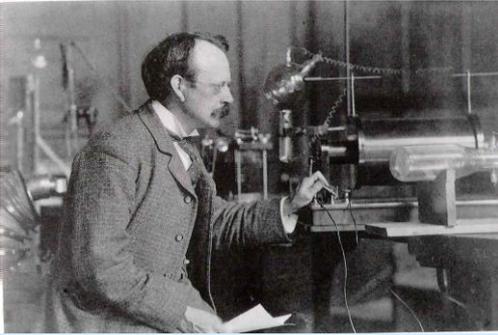


- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

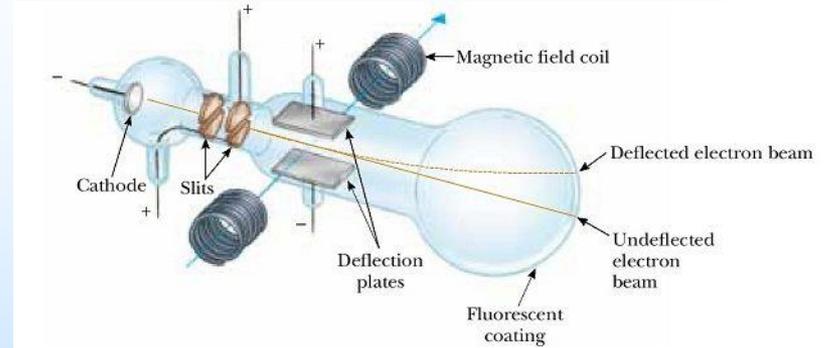
1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

$$F_E = F_B \Rightarrow E = vB$$

O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.

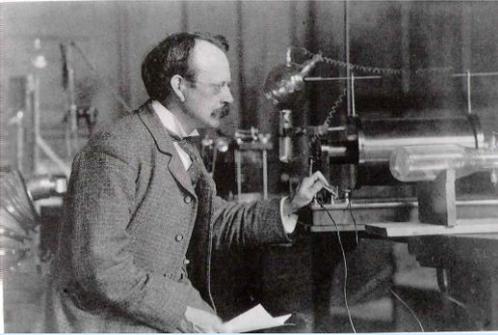


- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

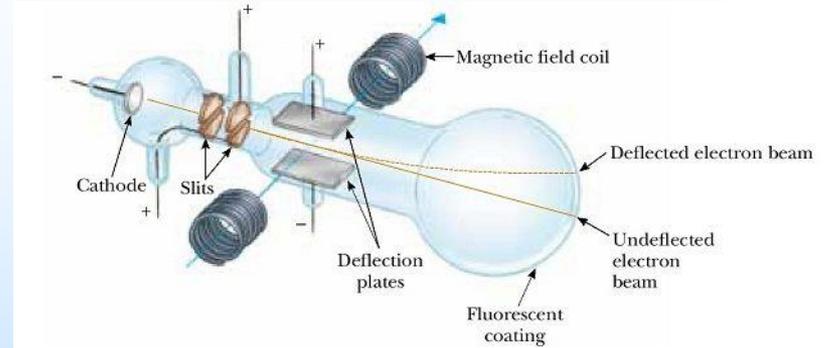
1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

$$F_E = F_B \Rightarrow E = vB \Rightarrow v = \frac{E}{B}$$

O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.

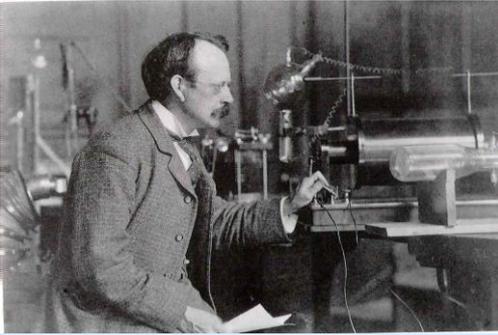


- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

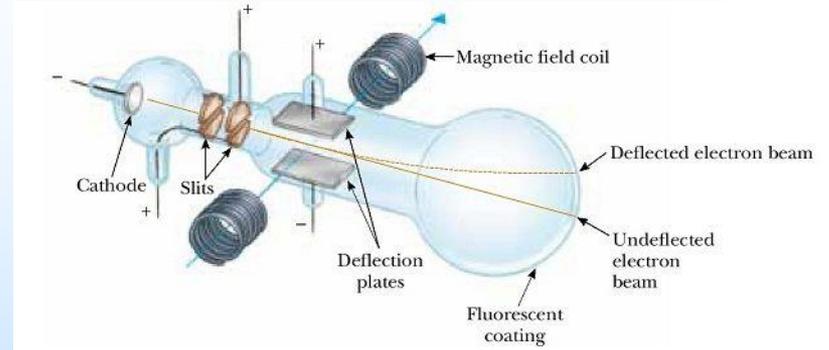
1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

$$F_E = F_B \Rightarrow v = \frac{E}{B}$$

O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.

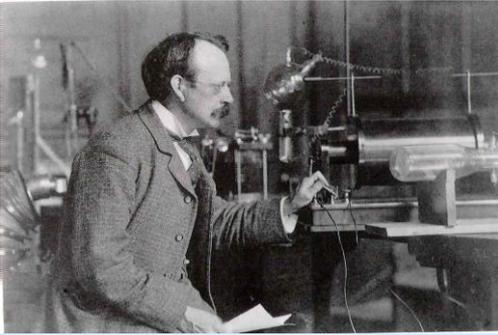


- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

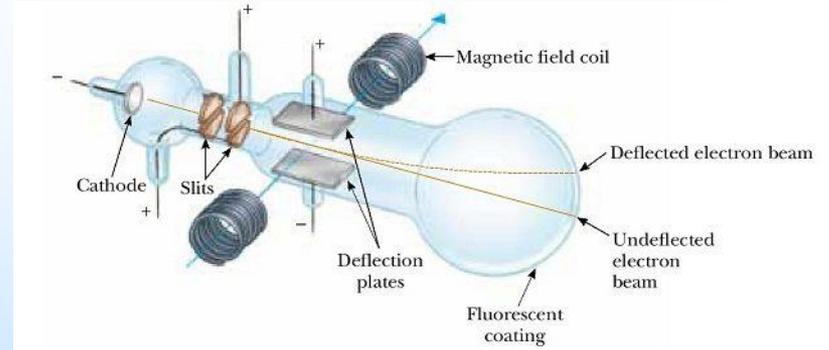
1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

$$F_E = F_B \Rightarrow v = \frac{E}{B} \approx 2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.

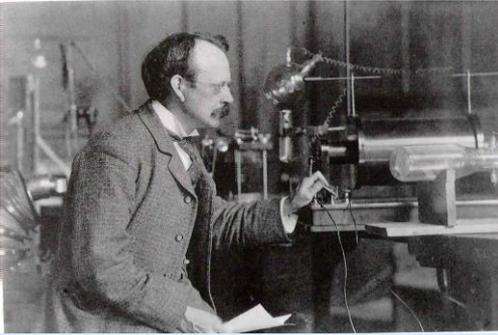


- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

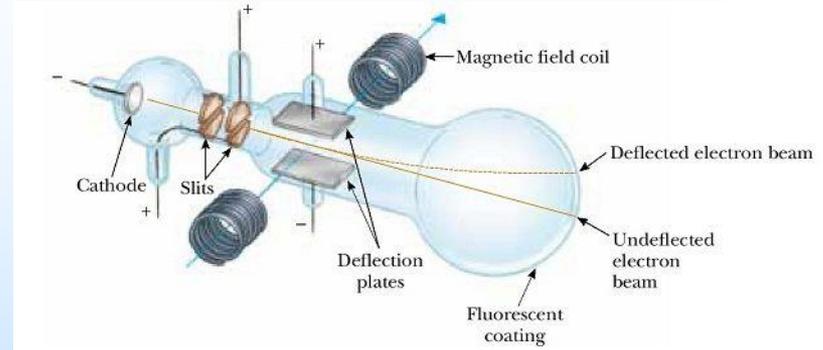
1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

$$F_E = F_B \Rightarrow v = \frac{E}{B} \approx 2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s} \approx 0,08c$$

O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



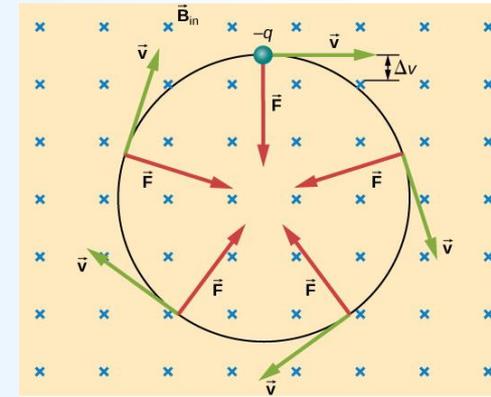
- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

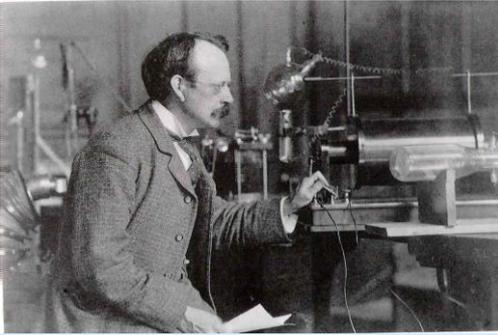
$$F_E = F_B \Rightarrow v = \frac{E}{B} \approx 2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s} \approx 0,08c$$

2. Thomson desligou o campo elétrico, deixando o campo magnético:

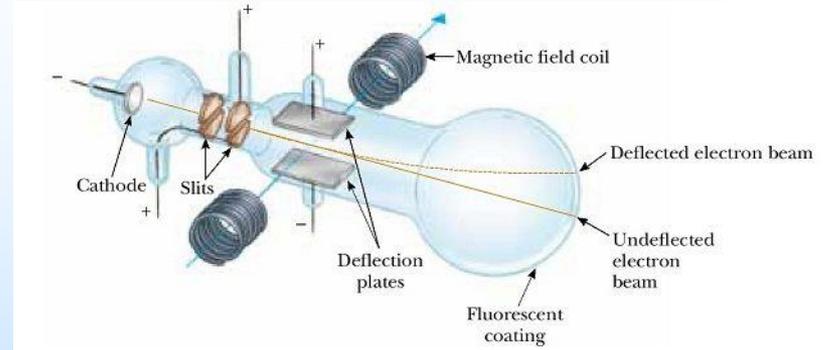
$$F_B = F_{\text{centrípeta}}$$



O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



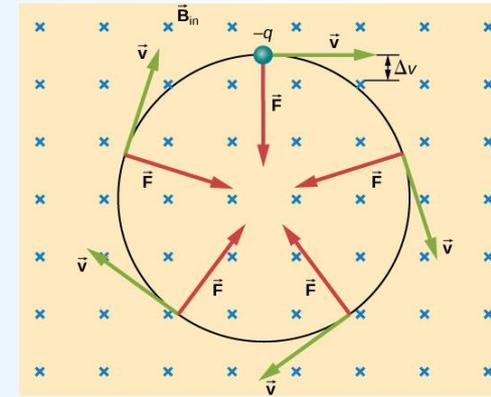
- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

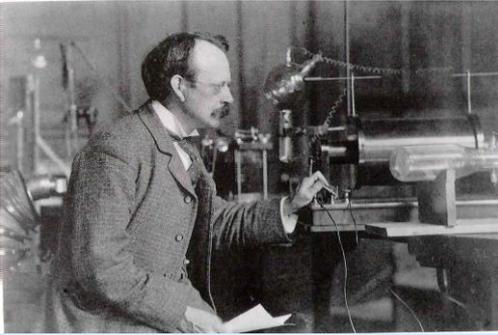
$$F_E = F_B \Rightarrow v = \frac{E}{B} \approx 2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s} \approx 0,08c$$

2. Thomson desligou o campo elétrico, deixando o campo magnético:

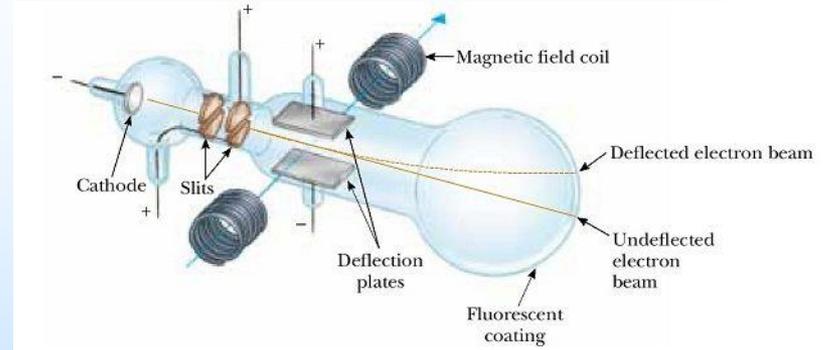
$$F_B = F_{\text{centrípeta}} \Rightarrow qvB = \frac{mv^2}{R}$$



O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



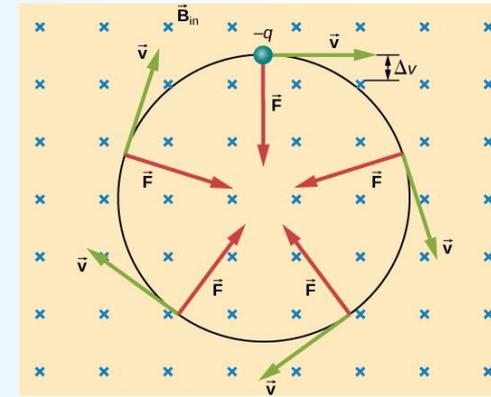
- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

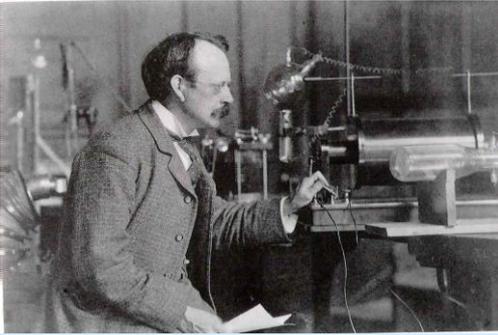
$$F_E = F_B \Rightarrow v = \frac{E}{B} \approx 2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s} \approx 0,08c$$

2. Thomson desligou o campo elétrico, deixando o campo magnético:

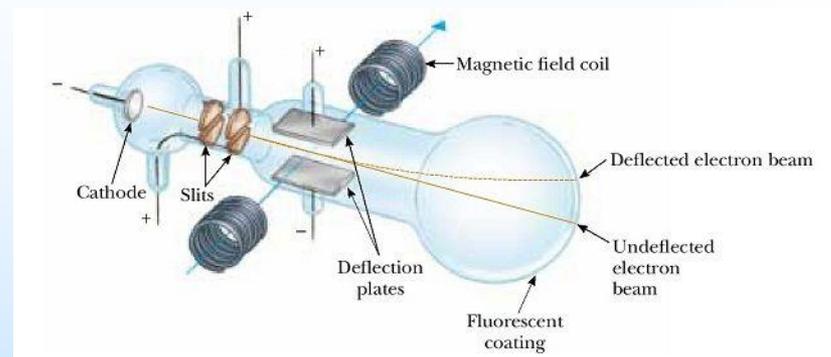
$$F_B = F_{\text{centrípeta}} \Rightarrow qvB = \frac{mv^2}{R}$$



O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



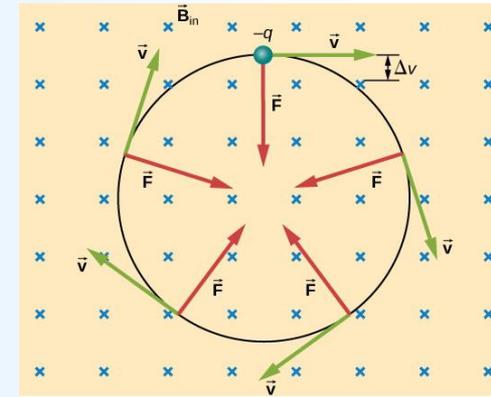
- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

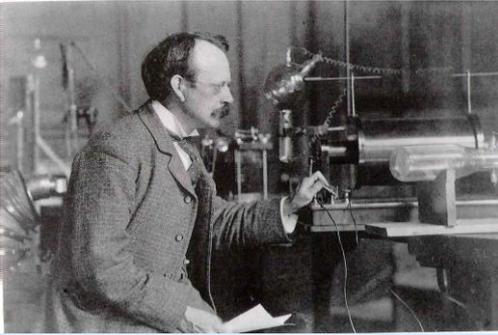
$$F_E = F_B \Rightarrow v = \frac{E}{B} \approx 2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s} \approx 0,08c$$

2. Thomson desligou o campo elétrico, deixando o campo magnético:

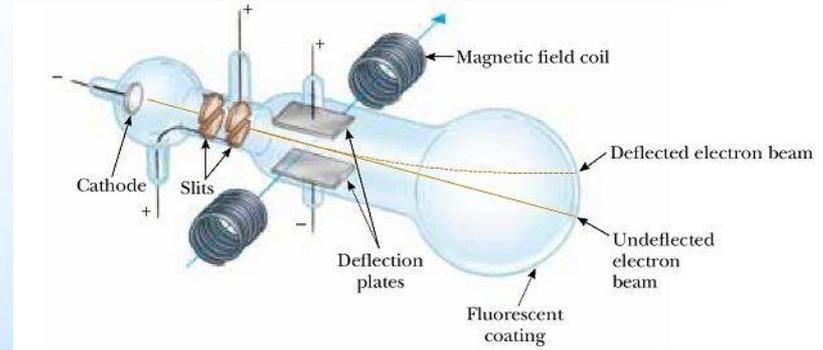
$$F_B = F_{centrípeta} \Rightarrow qB = \frac{mv}{R}$$



O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



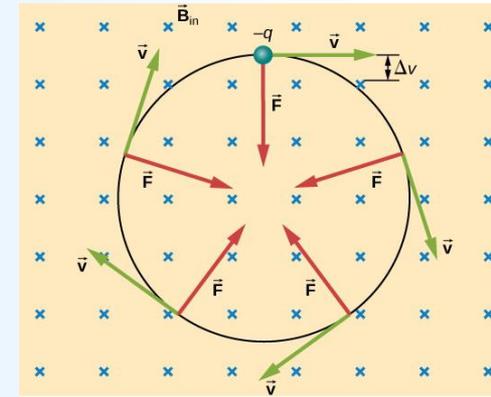
- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

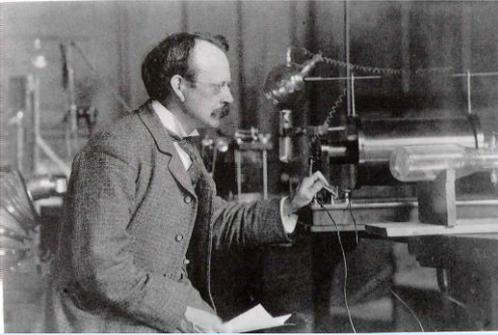
$$F_E = F_B \Rightarrow v = \frac{E}{B} \approx 2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s} \approx 0,08c$$

2. Thomson desligou o campo elétrico, deixando o campo magnético:

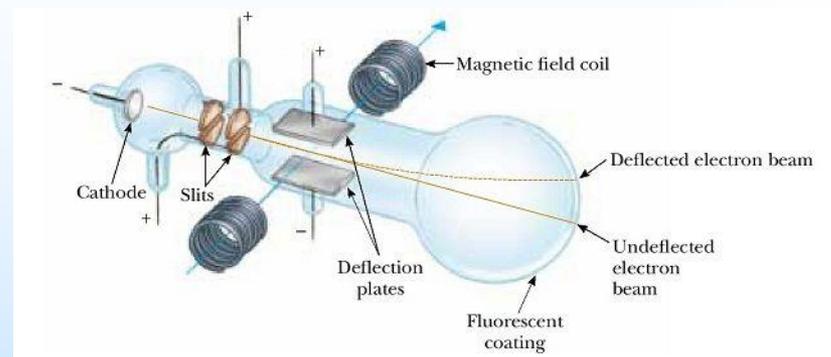
$$F_B = F_{centrípeta} \Rightarrow qB = \frac{mv}{R} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$$



O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



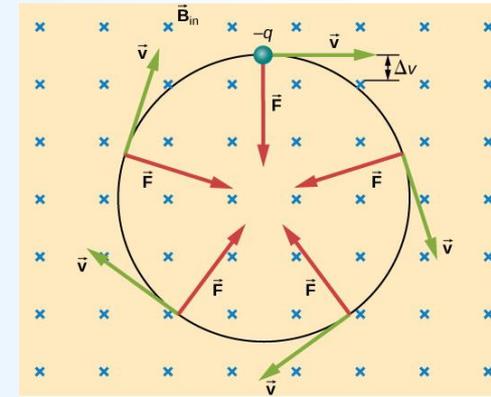
- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

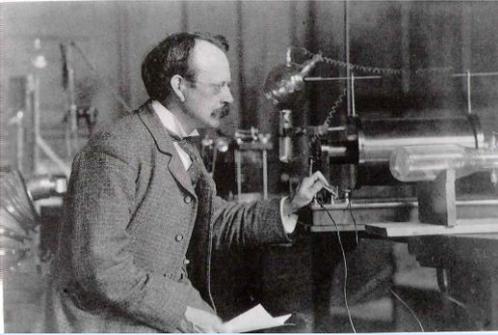
$$F_E = F_B \Rightarrow v = \frac{E}{B} \approx 2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s} \approx 0,08c$$

2. Thomson desligou o campo elétrico, deixando o campo magnético:

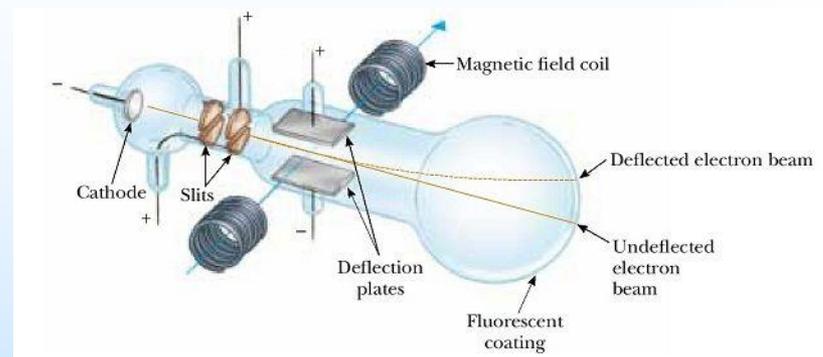
$$F_B = F_{\text{centrípetas}} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$$



O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



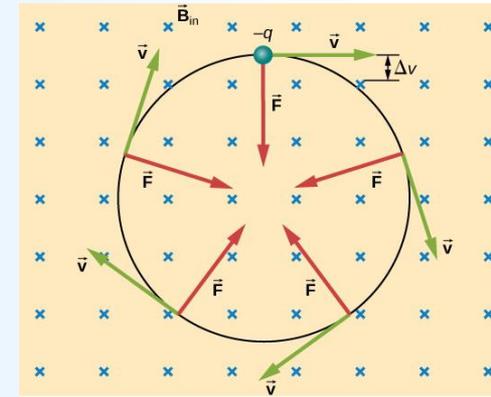
- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

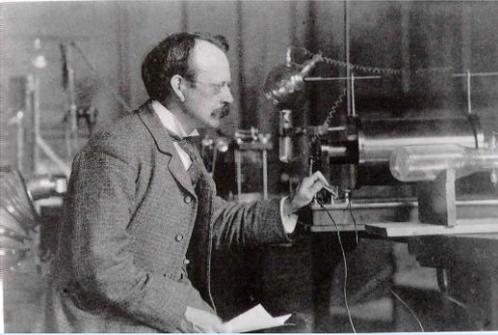
$$F_E = F_B \Rightarrow v = \frac{E}{B} \approx 2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s} \approx 0,08c$$

2. Thomson desligou o campo elétrico, deixando o campo magnético:

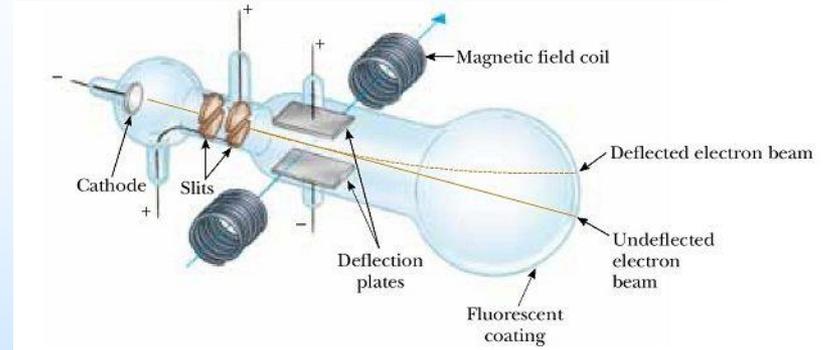
$$F_B = F_{\text{centrípetas}} \Rightarrow \frac{q}{m} \frac{v}{BR}$$



O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



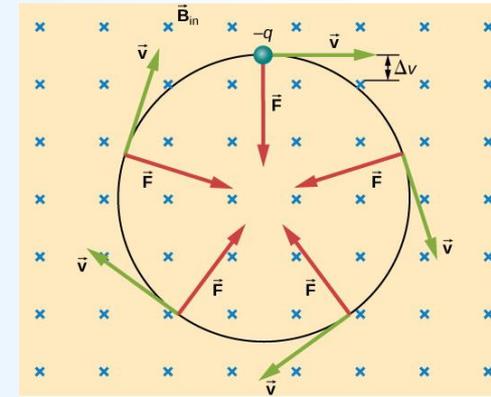
- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

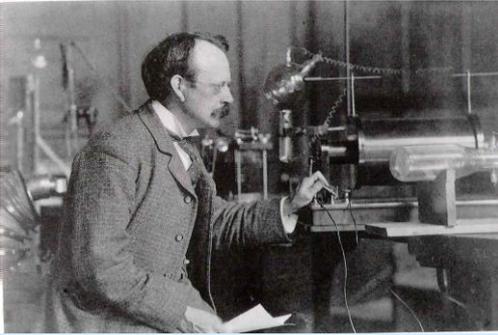
$$F_E = F_B \Rightarrow v = \frac{E}{B} \approx 2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s} \approx 0,08c$$

2. Thomson desligou o campo elétrico, deixando o campo magnético:

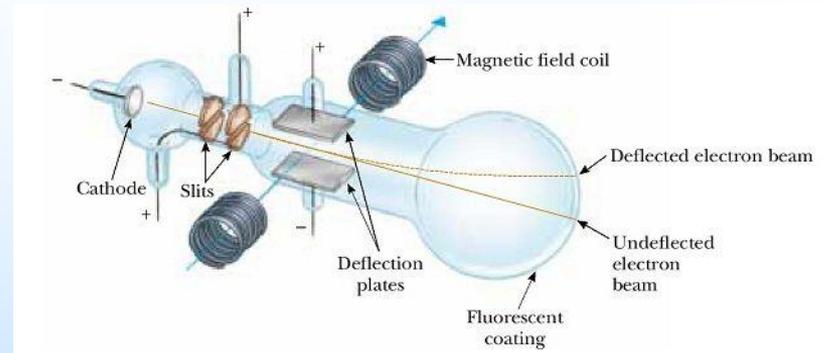
$$F_B = F_{centrípeta} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{v}{BR} = \frac{E/B}{BR}$$



O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



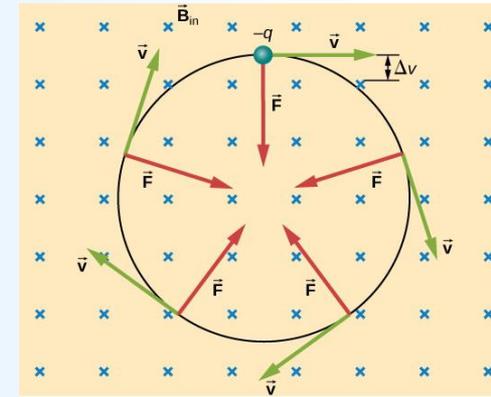
- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

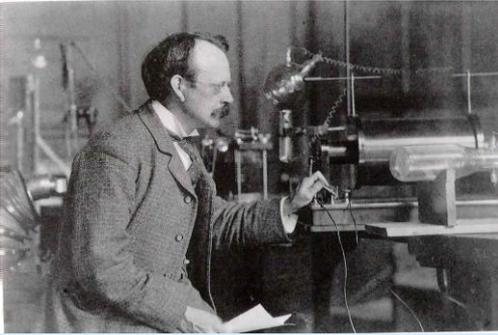
$$F_E = F_B \Rightarrow v = \frac{E}{B} \approx 2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s} \approx 0,08c$$

2. Thomson desligou o campo elétrico, deixando o campo magnético:

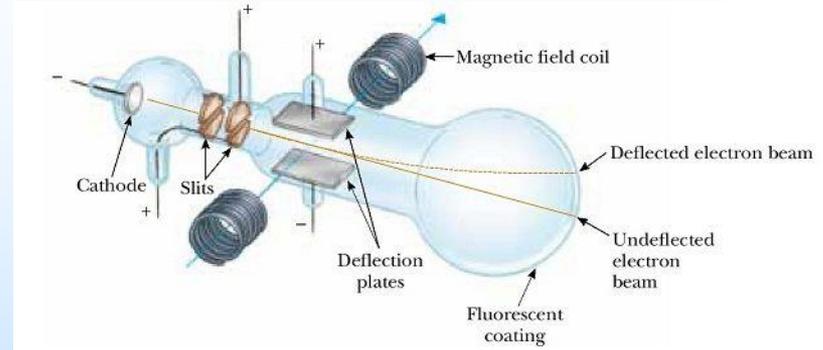
$$F_B = F_{centrípeta} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{v}{BR} = \frac{E/B}{BR} = \frac{E}{B^2 R}$$



O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



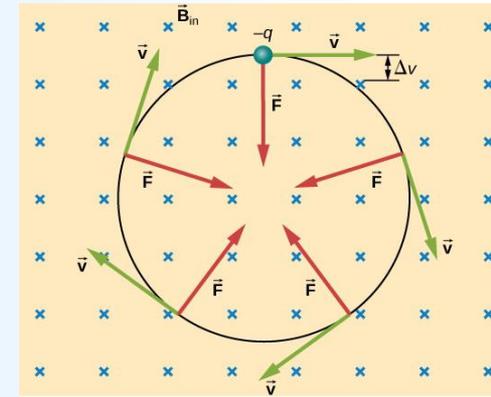
- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

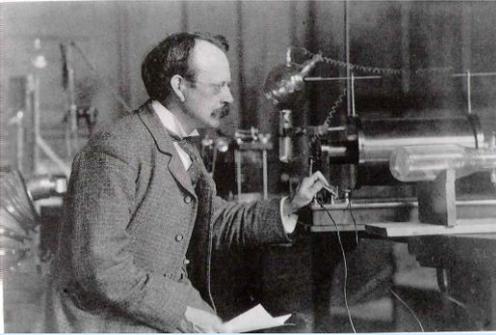
$$F_E = F_B \Rightarrow v = \frac{E}{B} \approx 2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s} \approx 0,08c$$

2. Thomson desligou o campo elétrico, deixando o campo magnético:

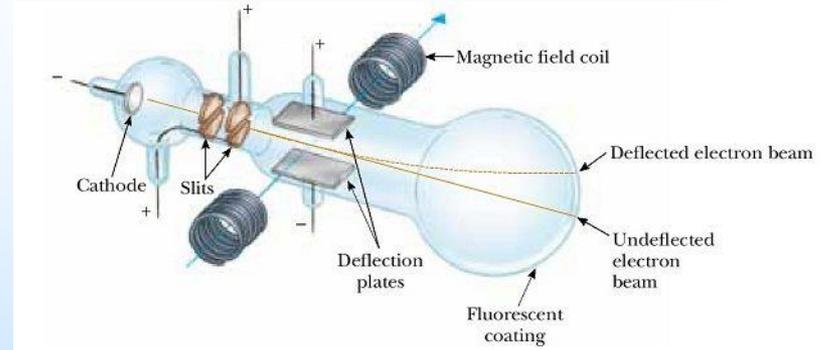
$$F_B = F_{\text{centrípeta}} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{E}{B^2 R}$$



O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



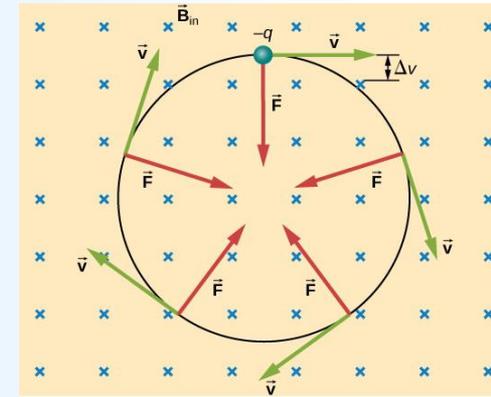
- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

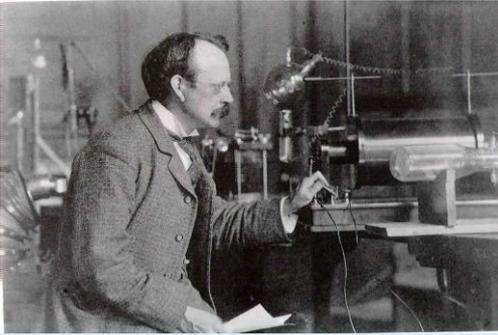
$$F_E = F_B \Rightarrow v = \frac{E}{B} \approx 2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s} \approx 0,08c$$

2. Thomson desligou o campo elétrico, deixando o campo magnético:

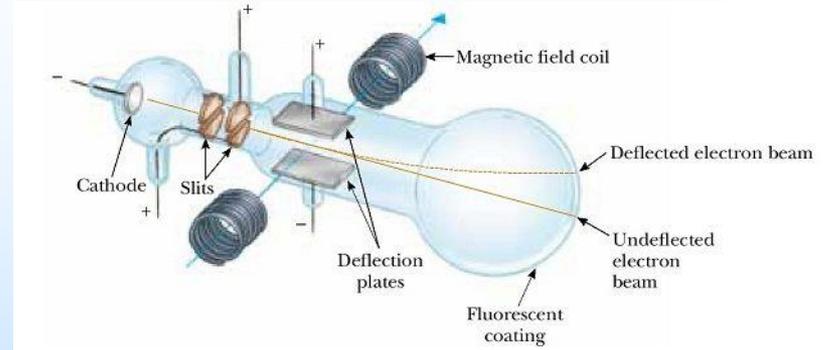
$$F_B = F_{\text{centrípeta}} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{E}{B^2 R}$$



O experimento de Thomson



Joseph John Thomson (1856 - 1940), físico britânico.



- A força elétrica no capacitor é: $F_E = qE$
- A força magnética no solenóide é: $F_B = qvB$

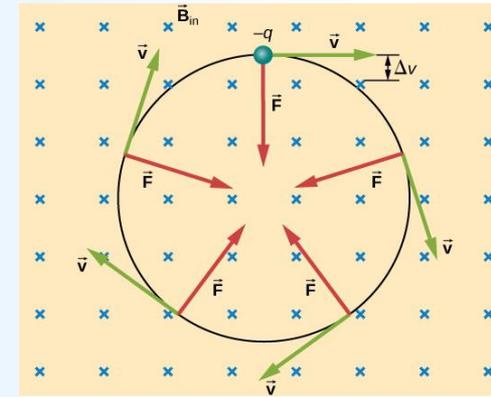
1. Thomson ajustou os campos, de tal forma que os raios catódicos não fossem defletidos (passando reto):

$$F_E = F_B \Rightarrow v = \frac{E}{B} \approx 2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s} \approx 0,08c$$

2. Thomson desligou o campo elétrico, deixando o campo magnético:

$$F_B = F_{centrípeta} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{E}{B^2 R} \Rightarrow$$

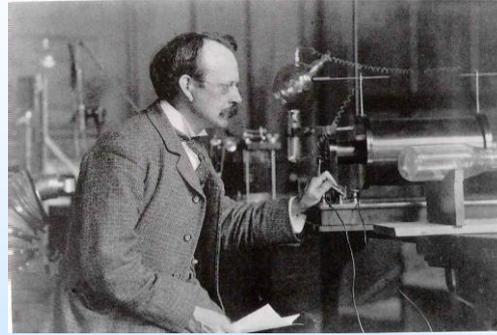
$$\left(\frac{q}{m}\right)_{e^-} = 1,759 \cdot 10^8 \text{ C/g}$$



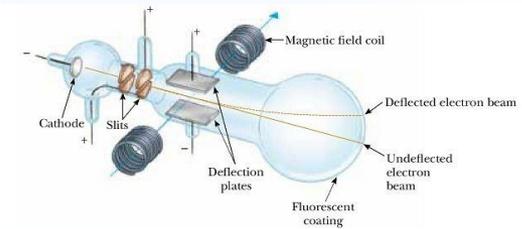
O experimento de Thomson

Comparando-se os resultados:

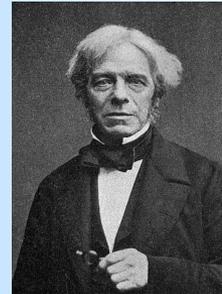
- Thomson: $\left(\frac{q}{m}\right)_{e^-} = 1,759 \cdot 10^8 \text{C/g}$



Joseph John Thomson



- Faraday: $\left(\frac{q}{m}\right)_{\text{H}^+} = 9,5602 \cdot 10^4 \text{C/g}$



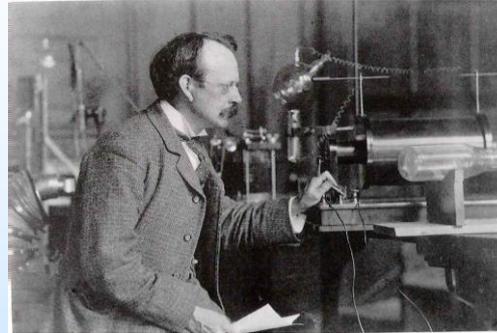
Michael Faraday



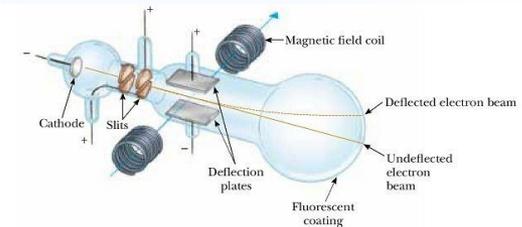
O experimento de Thomson

Comparando-se os resultados:

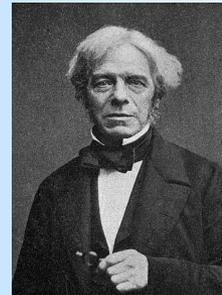
- Thomson: $\left(\frac{q}{m}\right)_{e^-} = 1,759 \cdot 10^8 \text{C/g}$



Joseph John Thomson



- Faraday: $\left(\frac{q}{m}\right)_{\text{H}^+} = 9,5602 \cdot 10^4 \text{C/g}$



Michael Faraday



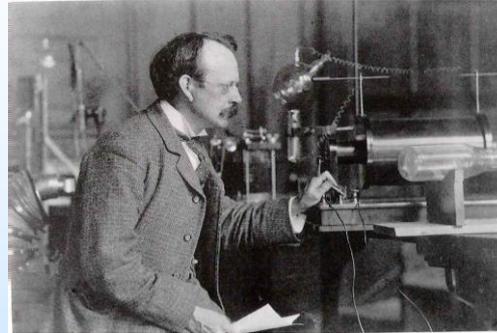
Notamos que:

$$\frac{(q/m)_{e^-}}{(q/m)_{\text{H}^+}} = \frac{1,759 \cdot 10^8 \text{C/g}}{9,5602 \cdot 10^4 \text{C/g}}$$

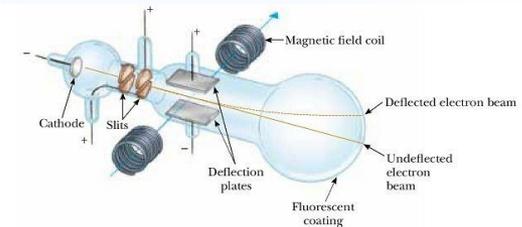
O experimento de Thomson

Comparando-se os resultados:

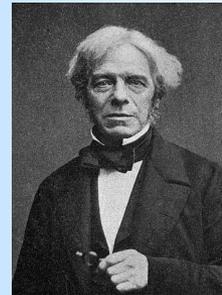
- Thomson: $\left(\frac{q}{m}\right)_{e^-} = 1,759 \cdot 10^8 \text{C/g}$



Joseph John Thomson



- Faraday: $\left(\frac{q}{m}\right)_{\text{H}^+} = 9,5602 \cdot 10^4 \text{C/g}$



Michael Faraday



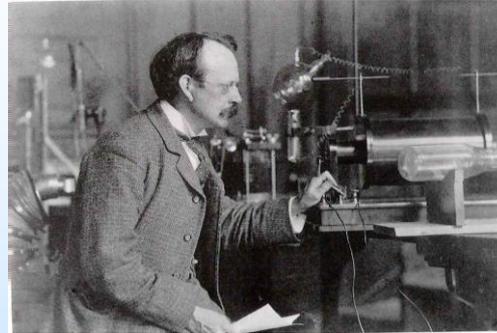
Notamos que:

$$\frac{(q/m)_{e^-}}{(q/m)_{\text{H}^+}} = \frac{1,759 \cdot 10^8 \text{C/g}}{9,5602 \cdot 10^4 \text{C/g}} \approx 1840$$

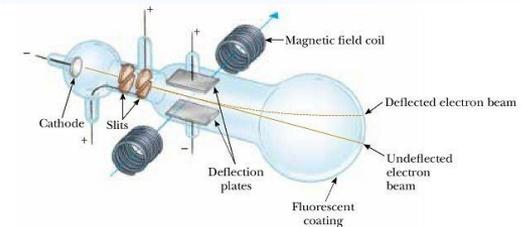
O experimento de Thomson

Comparando-se os resultados:

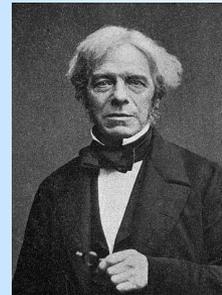
- Thomson: $\left(\frac{q}{m}\right)_{e^-} = 1,759 \cdot 10^8 \text{C/g}$



Joseph John Thomson



- Faraday: $\left(\frac{q}{m}\right)_{\text{H}^+} = 9,5602 \cdot 10^4 \text{C/g}$



Michael Faraday



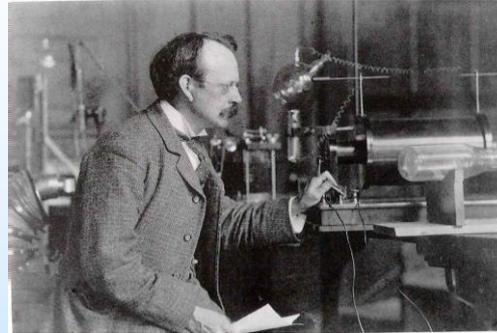
Notamos que:

$$\frac{(\not{q}/m)_{e^-}}{(\not{q}/m)_{\text{H}^+}} = \frac{1,759 \cdot 10^8 \text{C/g}}{9,5602 \cdot 10^4 \text{C/g}} \approx 1840$$

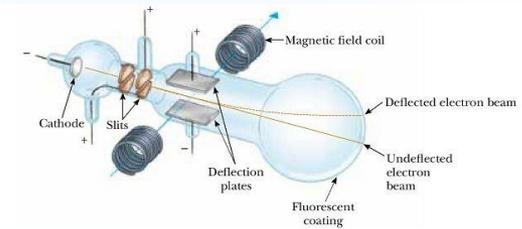
O experimento de Thomson

Comparando-se os resultados:

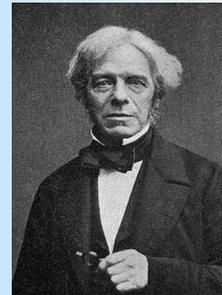
- Thomson: $\left(\frac{q}{m}\right)_{e^-} = 1,759 \cdot 10^8 \text{C/g}$



Joseph John Thomson



- Faraday: $\left(\frac{q}{m}\right)_{\text{H}^+} = 9,5602 \cdot 10^4 \text{C/g}$



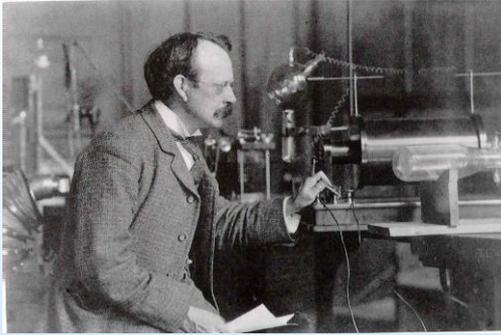
Michael Faraday



Notamos que:

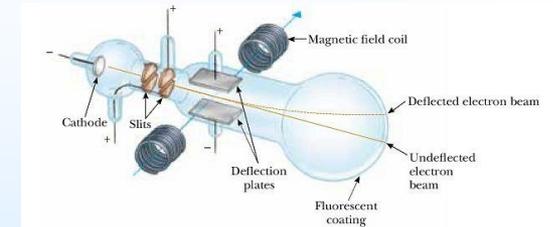
$$\frac{(q/m)_{e^-}}{(q/m)_{\text{H}^+}} = \frac{1,759 \cdot 10^8 \text{C/g}}{9,5602 \cdot 10^4 \text{C/g}} \approx 1840 \Rightarrow \boxed{\frac{m_{\text{H}^+}}{m_{e^-}} \approx 1840}$$

O modelo atômico de Thomson

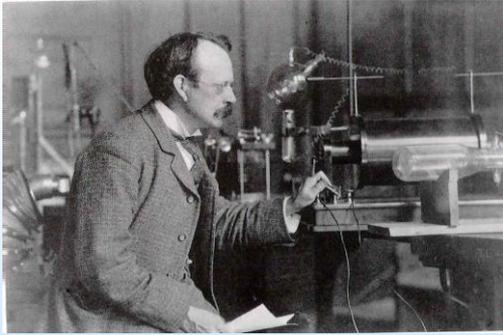


Joseph John Thomson

O resultado ($m_{e^-} \approx m_{H^+}/1840$) levou Thomson a propor, em 1904, o modelo do **pudim de ameixas** para o átomo.

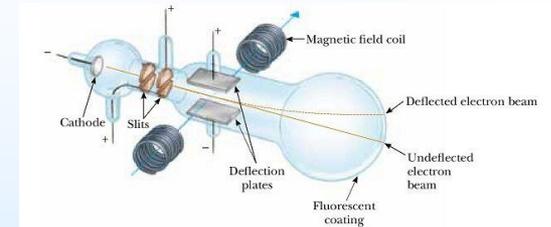


O modelo atômico de Thomson

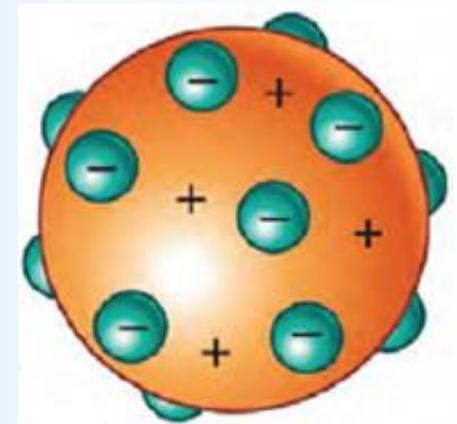


Joseph John Thomson

O resultado ($m_{e^-} \approx m_{H^+}/1840$) levou Thomson a propor, em 1904, o modelo do **pudim de ameixas** para o átomo.

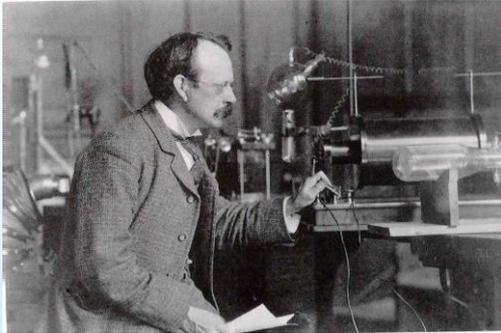


O modelo atômico de Thomson: os átomos são formados por pequenas esferas de carga positiva uniforme (os pudins) cravejadas por corpúsculos eletrificados negativamente, os elétrons (as ameixas), cujas massas são ~ 1840 vezes menores que a dos átomos.



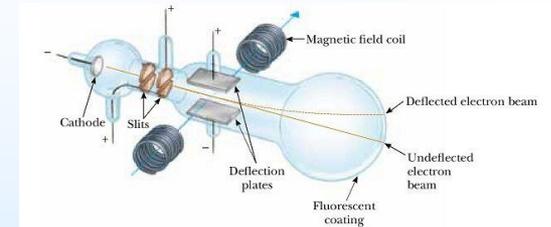
$\sim 10^{-10}$ m

O modelo atômico de Thomson



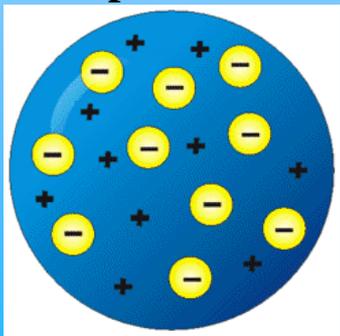
Joseph John Thomson

O resultado ($m_{e^-} \approx m_{H^+}/1840$) levou Thomson a propor, em 1904, o modelo do **pudim de ameixas** para o átomo.



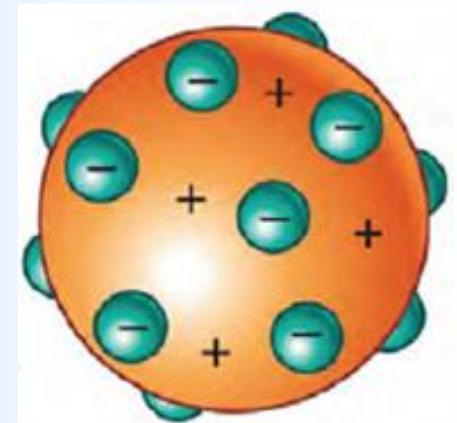
O modelo atômico de Thomson: os átomos são formados por pequenas esferas de carga positiva uniforme (os pudins) cravejadas por corpúsculos eletrificados negativamente, os elétrons (as ameixas), cujas massas são ~ 1840 vezes menores que a dos átomos.

Exemplo:



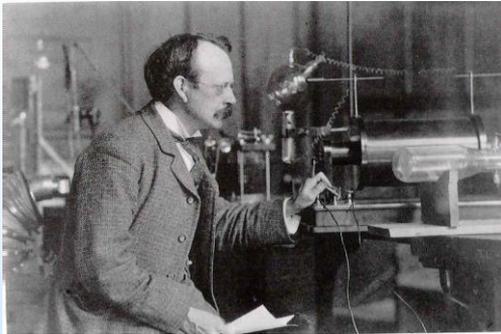
Ne ($Z=10$):

base (pudim) de carga: $q = +10e$
e 10 elétrons (ameixas): $\sum q = -10e$



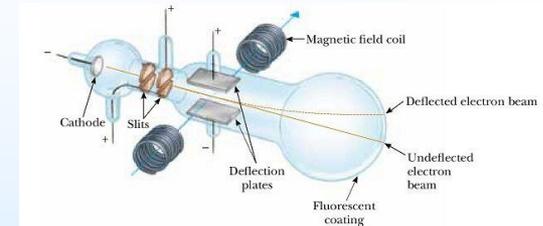
\longleftrightarrow
 $\sim 10^{-10} \text{ m}$

O modelo atômico de Thomson



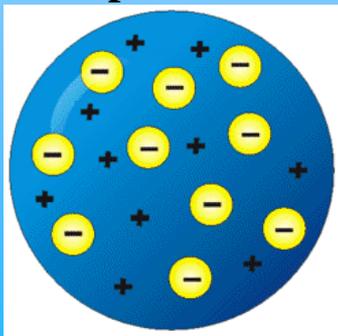
Joseph John Thomson

O resultado ($m_{e^-} \approx m_{H^+}/1840$) levou Thomson a propor, em 1904, o modelo do **pudim de ameixas** para o átomo.



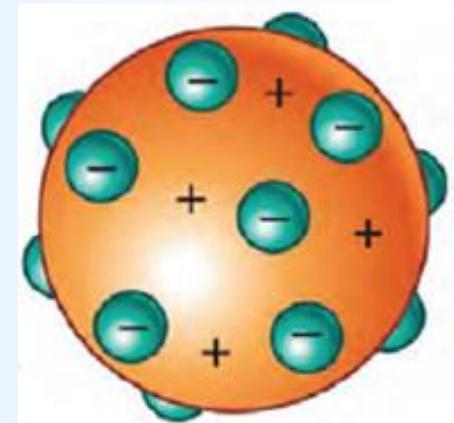
O modelo atômico de Thomson: os átomos são formados por pequenas esferas de carga positiva uniforme (os pudins) cravejadas por corpúsculos eletrificados negativamente, os elétrons (as ameixas), cujas massas são ~ 1840 vezes menores que a dos átomos.

Exemplo:



Ne ($Z=10$):

base (pudim) de carga: $q = +10e$
e 10 elétrons (ameixas): $\sum q = -10e$



\longleftrightarrow
 $\sim 10^{-10} \text{ m}$

$(q/m)_{e^-}$ foi determinado, mas faltava o valor acurado para a carga elementar e ...

O experimento de Millikan (séc. XX)



Robert Andrews Millikan (1868 - 1953), físico estadunidense.

O experimento de Millikan



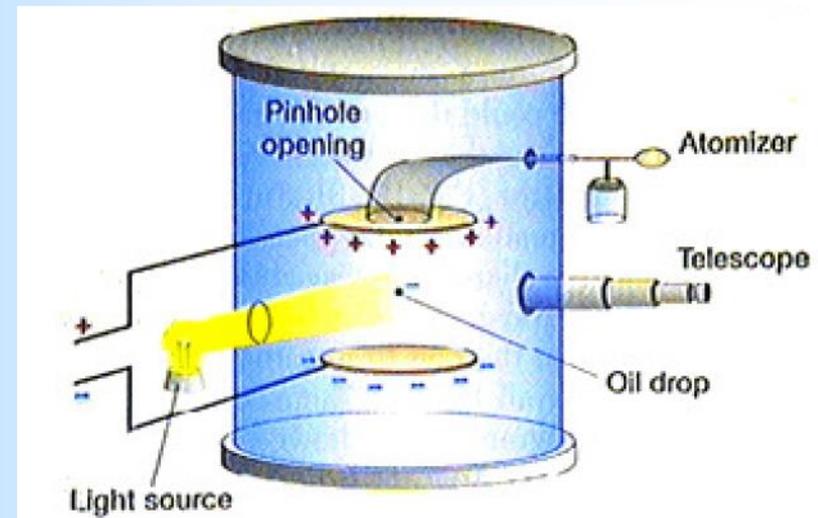
1923

Robert Andrews Millikan (1868 - 1953), físico estadunidense.

Entre 1908 e 1913, Millikan realizou experimentos com gotículas de óleo eletrificadas, medindo, desta forma, a **carga do elétron**.



Aparato original de Millikan.



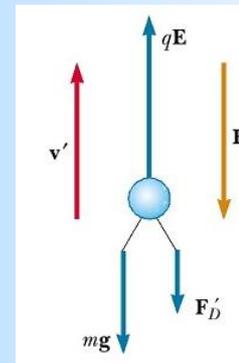
O experimento de Millikan



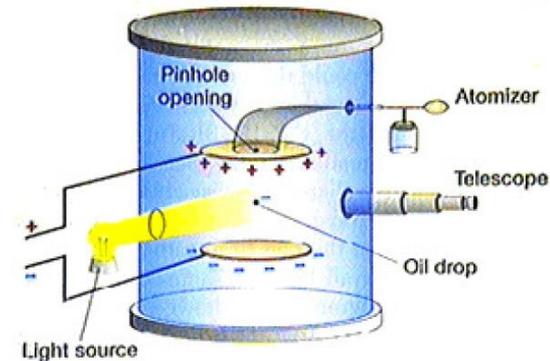
1923

Robert Andrews Millikan (1868 - 1953), físico estadunidense.

Com o campo elétrico ligado (para baixo), a gota de óleo com carga negativa vai ser acelerada (para cima), de acordo com o seguinte diagrama de forças:



Aparato original de Millikan.



O experimento de Millikan



1923

Robert Andrews Millikan (1868 - 1953), físico estadunidense.

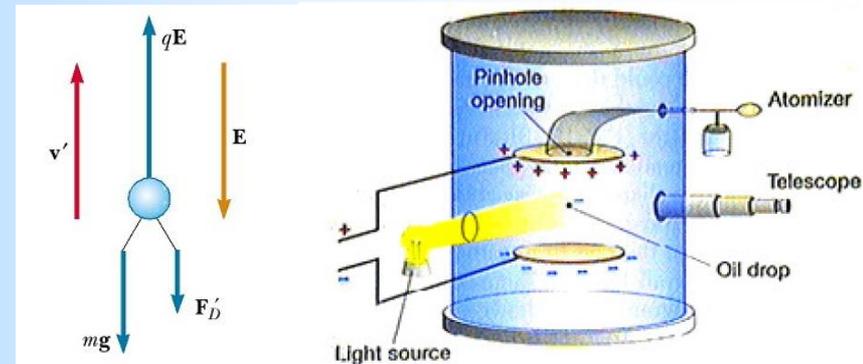
Com o campo elétrico ligado (para baixo), a gota de óleo com carga negativa vai ser acelerada (para cima), de acordo com o seguinte diagrama de forças:

Então, a resultante na gota é:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_E + \vec{F}_g + \vec{F}_D'$$



Aparato original de Millikan.



O experimento de Millikan



Robert Andrews Millikan (1868 - 1953), físico estadunidense.



1923

Entre 1908 e 1913, Millikan realizou experimentos com gotículas de óleo eletrificadas, medindo, desta forma, a **carga do elétron**.

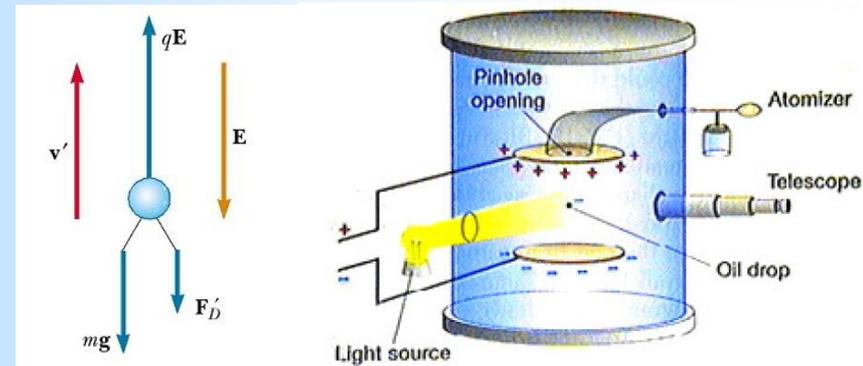


Aparato original de Millikan.

Com o campo elétrico ligado (para baixo), a gota de óleo com carga negativa vai ser acelerada (para cima), de acordo com o seguinte diagrama de forças:

Então, a resultante na gota é:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_E + \vec{F}_g + \vec{F}_{D'}$$



$\vec{F}_{D'}$ é a força devida à viscosidade do ar, descrita por: $\vec{F}_{D'} = -b\vec{v}$

O experimento de Millikan



Robert Andrews Millikan (1868 - 1953), físico estadunidense.



1923

Entre 1908 e 1913, Millikan realizou experimentos com gotículas de óleo eletrificadas, medindo, desta forma, a **carga do elétron**.

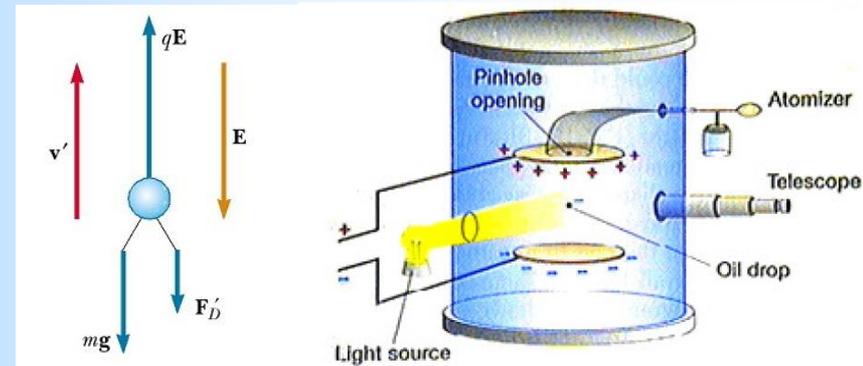


Aparato original de Millikan.

Com o campo elétrico ligado (para baixo), a gota de óleo com carga negativa vai ser acelerada (para cima), de acordo com o seguinte diagrama de forças:

Então, a resultante na gota é:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_E + \vec{F}_g + \vec{F}_{D'} \Rightarrow$$
$$ma = qE - mg - bv$$



$\vec{F}_{D'}$ é a força devida à viscosidade do ar, descrita por: $\vec{F}_{D'} = -b\vec{v}$

O experimento de Millikan



1923

Robert Andrews Millikan (1868 - 1953), físico estadunidense.

Com o campo elétrico ligado (para baixo), a gota de óleo com carga negativa vai ser acelerada (para cima), de acordo com o seguinte diagrama de forças:

Então, a resultante na gota é:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_E + \vec{F}_g + \vec{F}_{D'} \Rightarrow$$

$$ma = qE - mg - bv$$

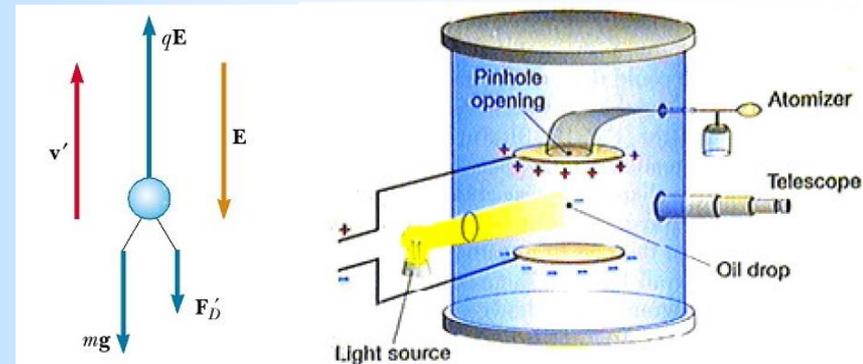
Quando a velocidade é máxima (terminal), não há aceleração:

$$0 = qE - mg - bv_t$$

Entre 1908 e 1913, Millikan realizou experimentos com gotículas de óleo eletrificadas, medindo, desta forma, a **carga do elétron**.



Aparato original de Millikan.



$\vec{F}_{D'}$ é a força devida à viscosidade do ar, descrita por: $\vec{F}_{D'} = -b\vec{v}$

O experimento de Millikan



Robert Andrews Millikan (1868 - 1953), físico estadunidense.



1923

Entre 1908 e 1913, Millikan realizou experimentos com gotículas de óleo eletrificadas, medindo, desta forma, a **carga do elétron**.



Aparato original de Millikan.

Com o campo elétrico ligado (para baixo), a gota de óleo com carga negativa vai ser acelerada (para cima), de acordo com o seguinte diagrama de forças:

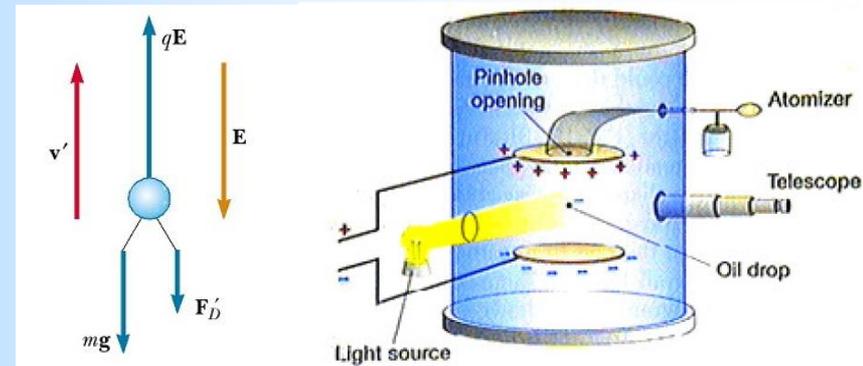
Então, a resultante na gota é:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_E + \vec{F}_g + \vec{F}_{D'} \Rightarrow$$

$$ma = qE - mg - bv$$

Quando a velocidade é máxima (terminal), não há aceleração:

$$0 = qE - mg - bv_t \Rightarrow v_t = \frac{qE - mg}{b}$$



$\vec{F}_{D'}$ é a força devida à viscosidade do ar, descrita por: $\vec{F}_{D'} = -b\vec{v}$

O experimento de Millikan



1923

Robert Andrews Millikan (1868 - 1953), físico estadunidense.

Com o campo elétrico ligado (para baixo), a gota de óleo com carga negativa vai ser acelerada (para cima), de acordo com o seguinte diagrama de forças:

Então, a resultante na gota é:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_E + \vec{F}_g + \vec{F}_{D'} \Rightarrow$$

$$ma = qE - mg - bv$$

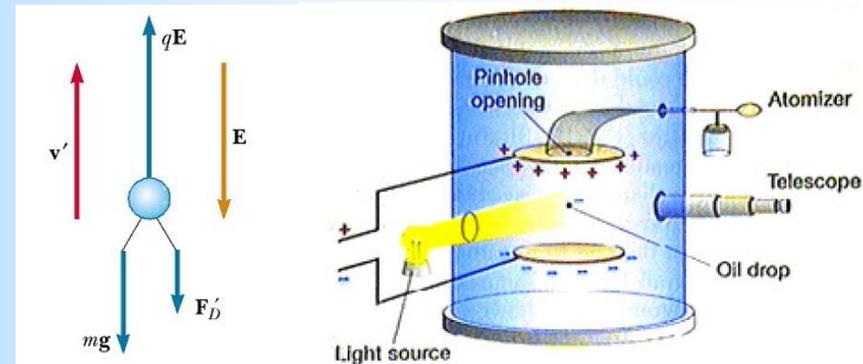
Quando a velocidade é máxima (terminal), não há aceleração:

$$0 = qE - mg - bv_t \Rightarrow v_t = \frac{qE - mg}{b}$$

Entre 1908 e 1913, Millikan realizou experimentos com gotículas de óleo eletrificadas, medindo, desta forma, a carga do elétron.



Aparato original de Millikan.

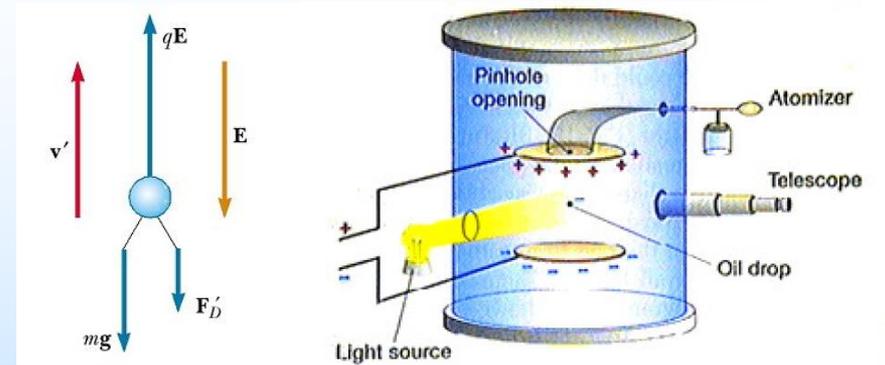


$\vec{F}_{D'}$ é a força devida à viscosidade do ar, descrita por: $\vec{F}_{D'} = -b\vec{v}$

O experimento de Millikan



Robert A. Millikan

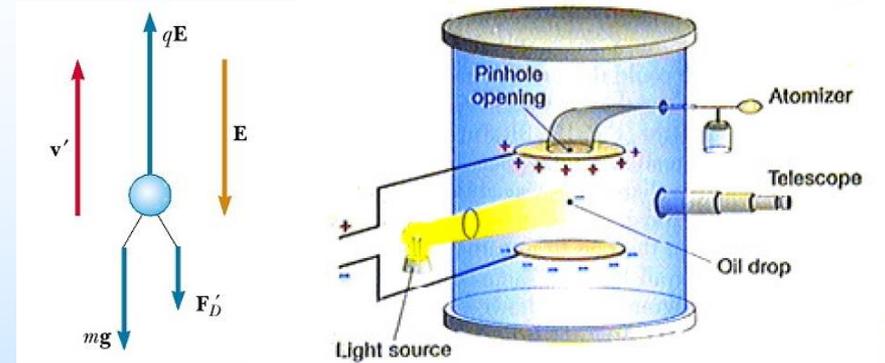


A velocidade terminal das gotas é dada por: $v_t = \frac{qE - mg}{b}$.

O experimento de Millikan



Robert A. Millikan



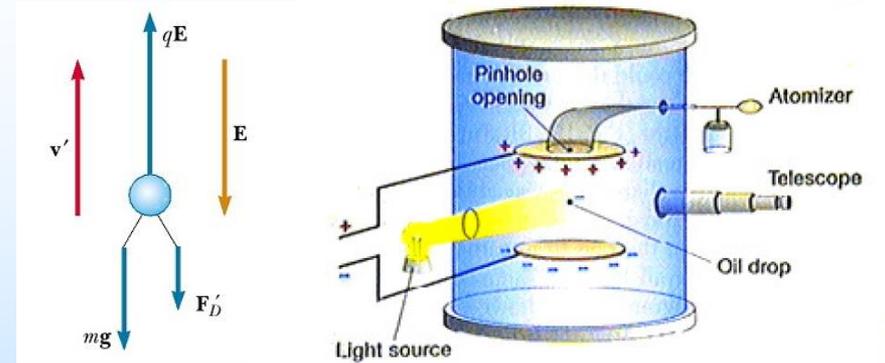
A velocidade terminal das gotas é dada por: $v_t = \frac{qE - mg}{b}$.

➤ Millikan obteve o valor: $e = 1,592 \times 10^{-19} \text{ C}$;

O experimento de Millikan



Robert A. Millikan



A velocidade terminal das gotas é dada por: $v_t = \frac{qE - mg}{b}$.

➤ Millikan obteve o valor: $e = 1,592 \times 10^{-19} \text{ C}$;

➤ Valor aceito atualmente: $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Radioatividade (sécs. XIX e XX)

Radioatividade



1895 Röntgen descobre os **raios-X**.



1901

Wilhelm Conrad Röntgen
(1845 - 1923)



Radioatividade

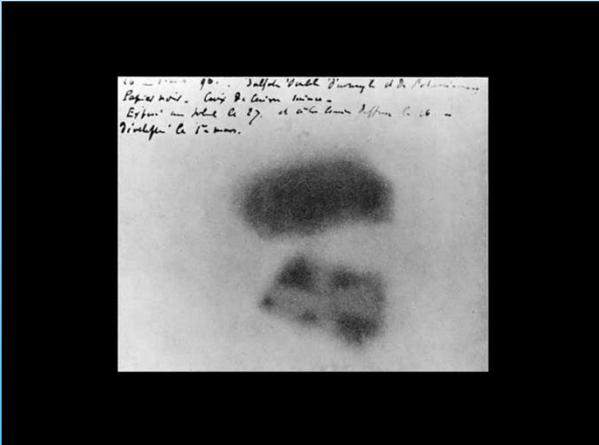
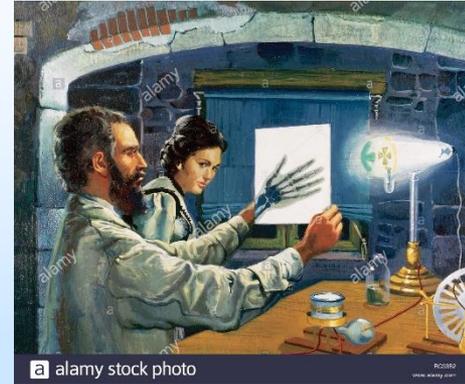


1895 Röntgen descobre os **raios-X**.



1901

Wilhelm Conrad Röntgen
(1845 - 1923)



1896 Henri Becquerel descobre que o elemento urânio emite radiação que pode escurecer uma placa fotográfica.



Antoine-Henri
Becquerel (1852 - 1908)



1903

Radioatividade



1898++ Marya Sklodowska & Pierre Curie: radioatividade é atômica

Marie Skłodowska Curie (1867 - 1934)

Pierre Curie (1859 - 1906)

Radioatividade



1898++ Marya Sklodowska & Pierre Curie: radioatividade é atômica:

- *Pechblenda*, de onde mediram a radiação do urânio;
- Sintetizaram o **polônio** (Po) e o **rádio** (Ra);
- Cunharam o termo **radioatividade**.

Marie Skłodowska Curie (1867 - 1934)

Pierre Curie (1859 - 1906)

Radioatividade



1898++ Marya Sklodowska & Pierre Curie: radioatividade é atômica:

- *Pechblenda*, de onde mediram a radiação do urânio;
- Sintetizaram o **polônio** (Po) e o **rádio** (Ra);
- Cunharam o termo **radioatividade**.

Marie Skłodowska Curie (1867 - 1934)

Pierre Curie (1859 - 1906)



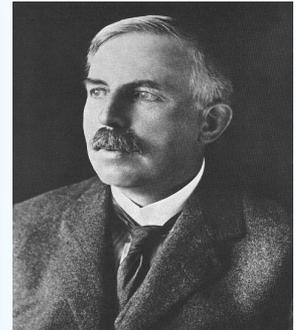
1903 (Física)



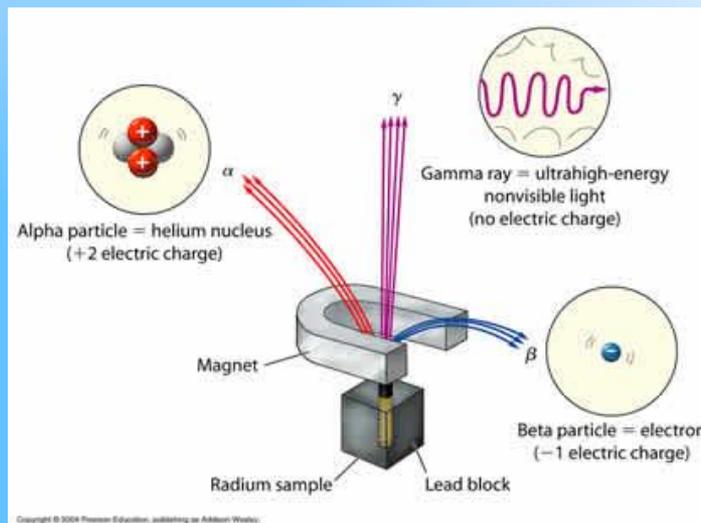
1911 (Química)

Radioatividade

1898 Ernest Rutherford identifica 2 tipos de radiação: α e β .

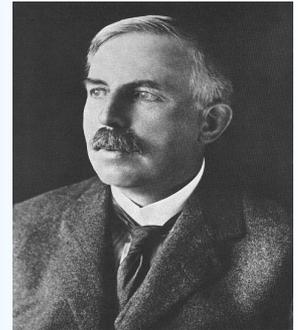


Ernest Rutherford (1871 - 1937)



Radioatividade

1898 Ernest Rutherford identifica 2 tipos de radiação: α e β .

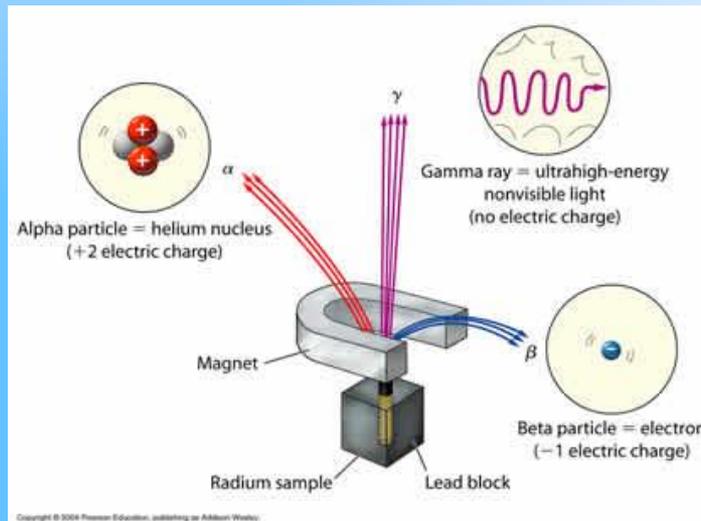


Ernest Rutherford (1871 - 1937)



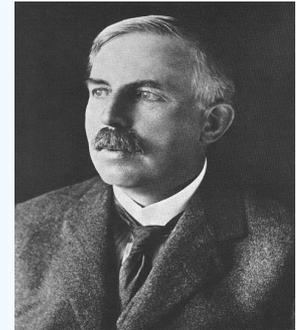
Paul Ulrich Villard
(1860 - 1934)

1899 Paul Villard descobre o 3º tipo de radiação (γ) que Rutherford identificou como onda eletromagnética, mais energética que o raio X.



Radioatividade

1898 Ernest Rutherford identifica 2 tipos de radiação: α e β .

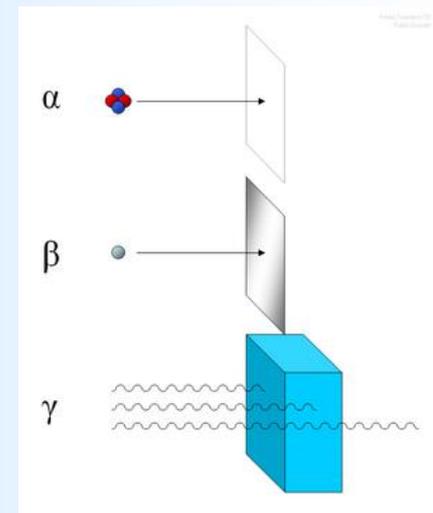
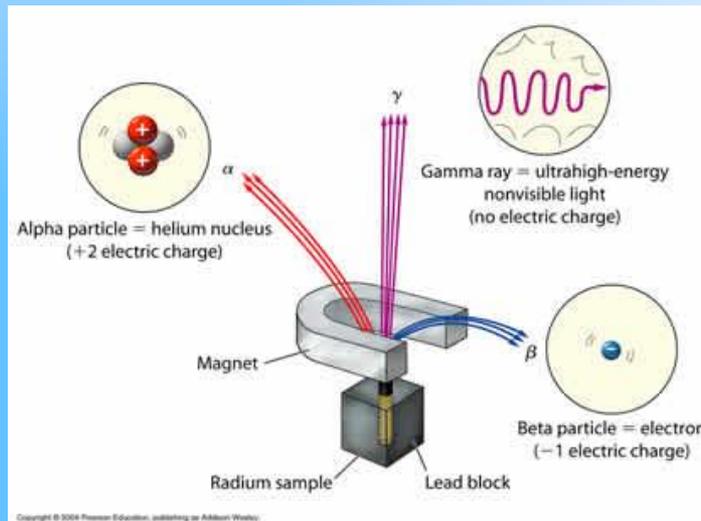


Ernest Rutherford (1871 - 1937)



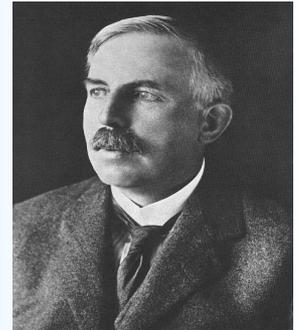
Paul Ulrich Villard
(1860 - 1934)

1899 Paul Villard descobre o 3º tipo de radiação (γ) que Rutherford identificou como onda eletromagnética, mais energética que o raio X.



Radioatividade

1898 Ernest Rutherford identifica 2 tipos de radiação: α e β .

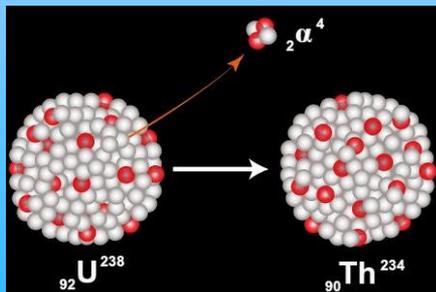


Ernest Rutherford (1871 - 1937)



Paul Ulrich Villard
(1860 - 1934)

1899 Paul Villard descobre o 3º tipo de radiação (γ) que Rutherford identificou como onda eletromagnética, mais energética que o raio X.



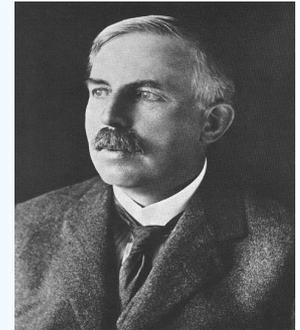
1905 Soddy e Rutherford constatam que o decaimento radioativo resulta na transmutação do elemento.



Frederick Soddy
(1871 - 1937)

Radioatividade

1898 Ernest Rutherford identifica 2 tipos de radiação: α e β .



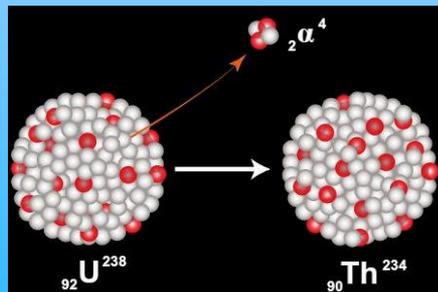
1908 Rutherford (Química)

Ernest Rutherford (1871 - 1937)



Paul Ulrich Villard
(1860 - 1934)

1899 Paul Villard descobre o 3º tipo de radiação (γ) que Rutherford identificou como onda eletromagnética, mais energética que o raio X.

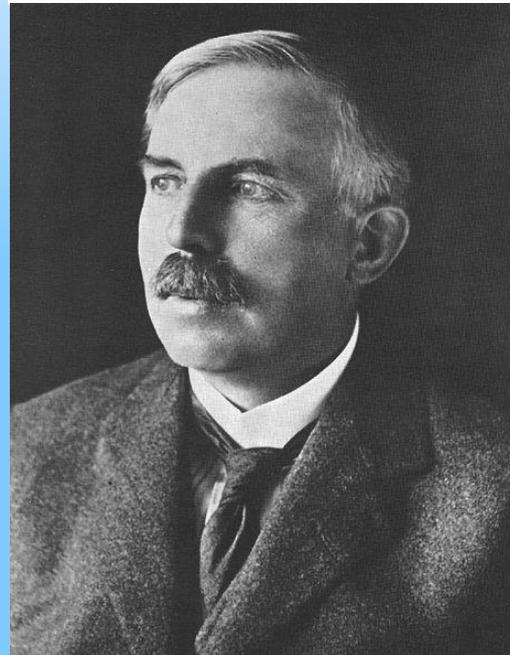
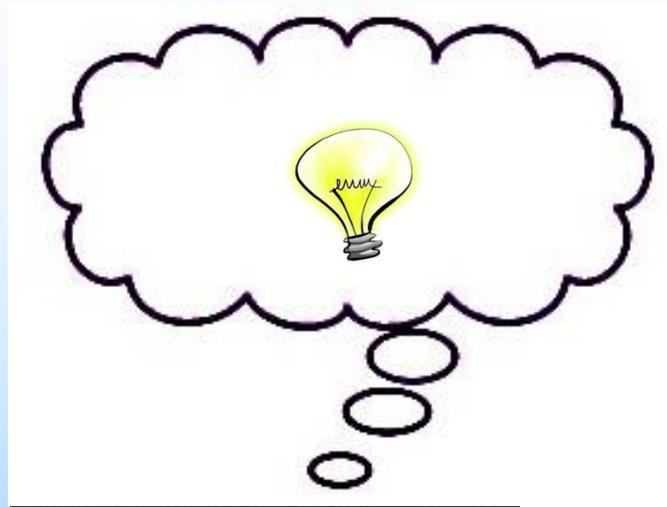


1905 Soddy e Rutherford constatarem que o decaimento radioativo resulta na transmutação do elemento.

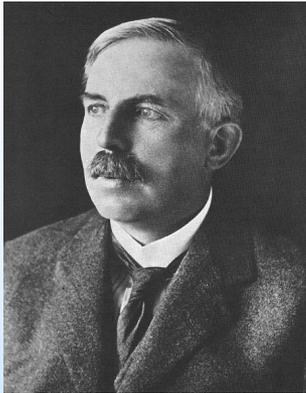


Frederick Soddy
(1871 - 1937)

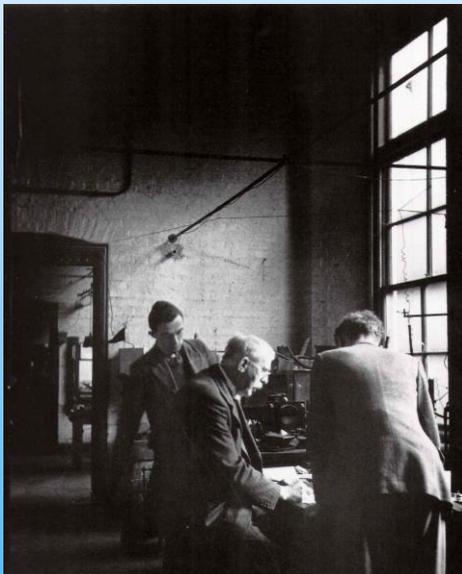
A ideia de Rutherford



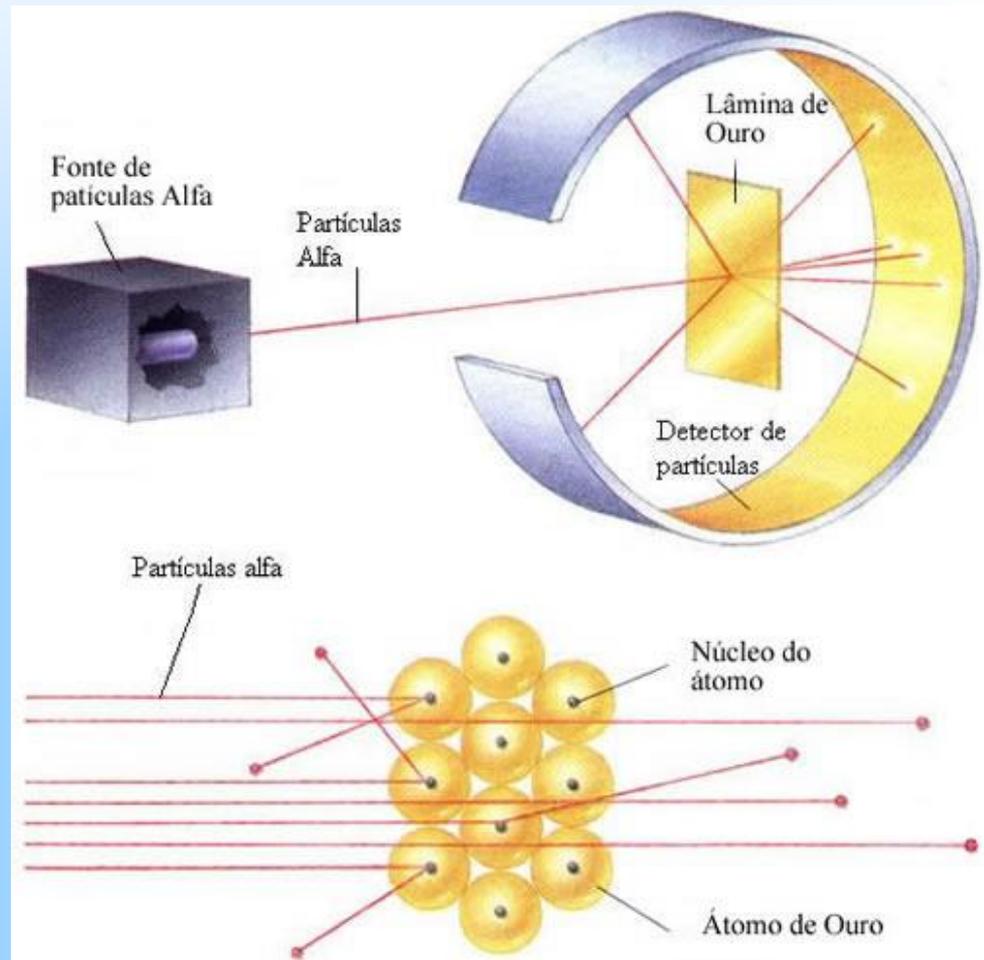
O experimento de Geiger e Marsden



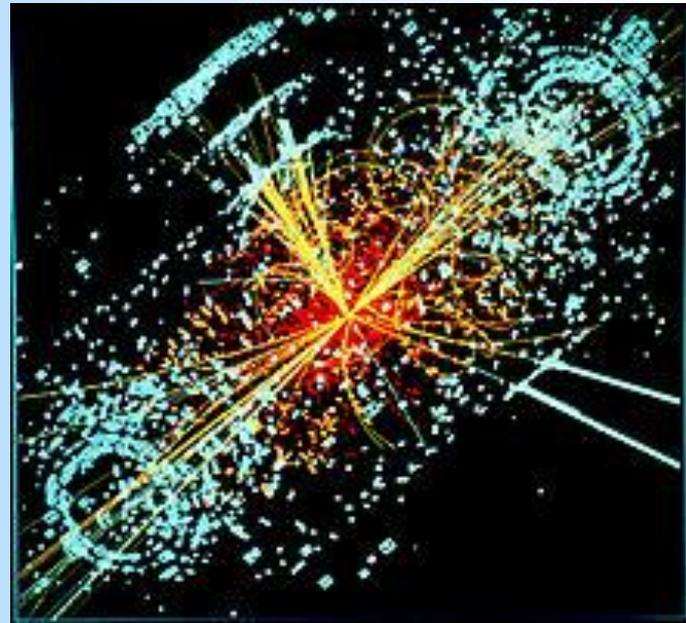
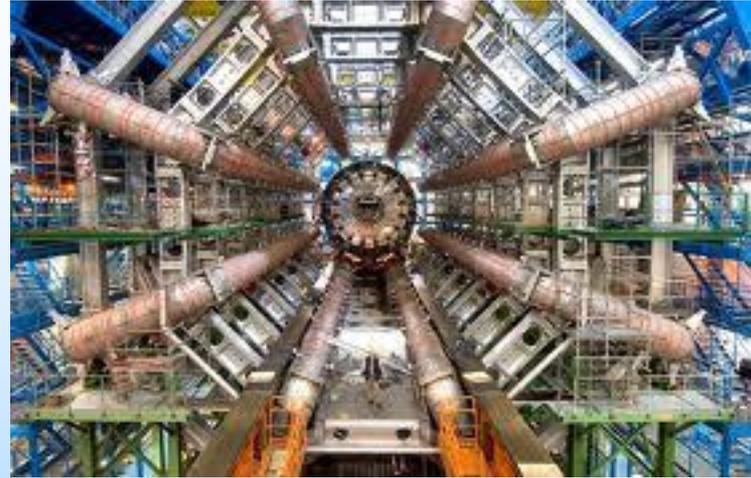
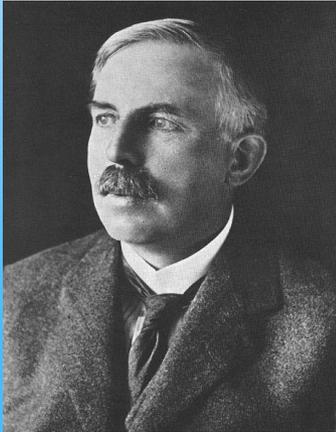
1909 Rutherford e seus estudantes Geiger e Marsden fazem experimentos de espalhamentos de partícula α em folhas de ouro.



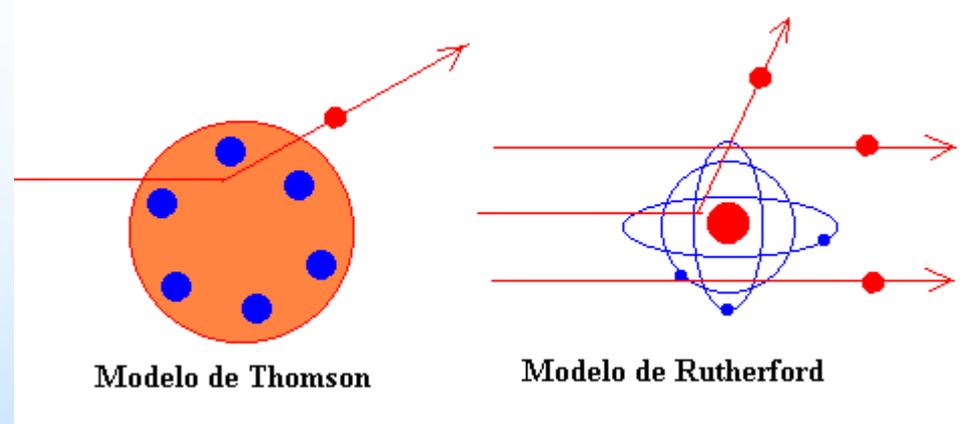
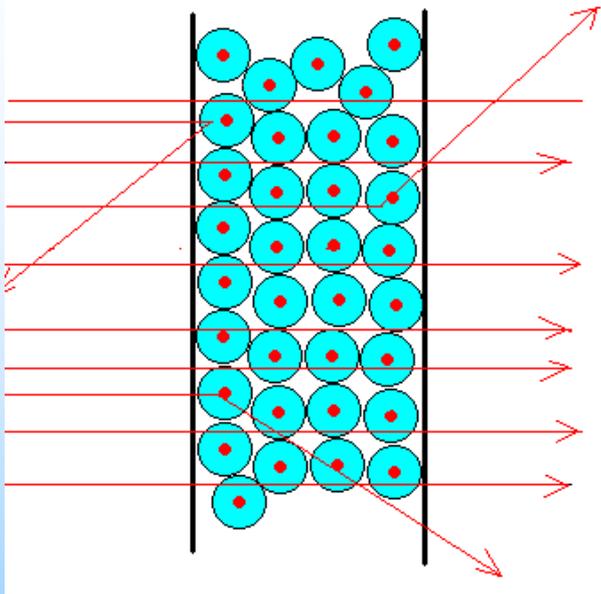
Rutherford e seus estudantes
Hans Geiger (1882 - 1945) e
Ernest Marsden (1889 - 1970)



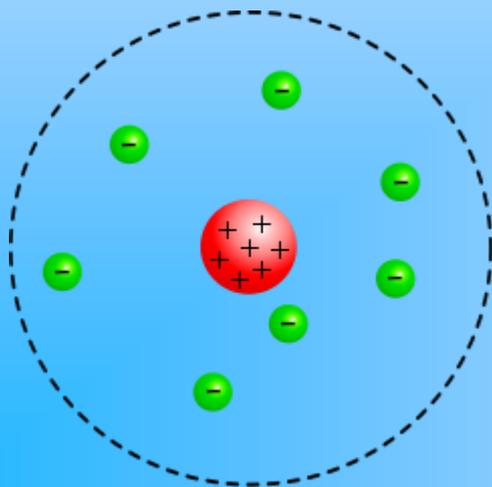
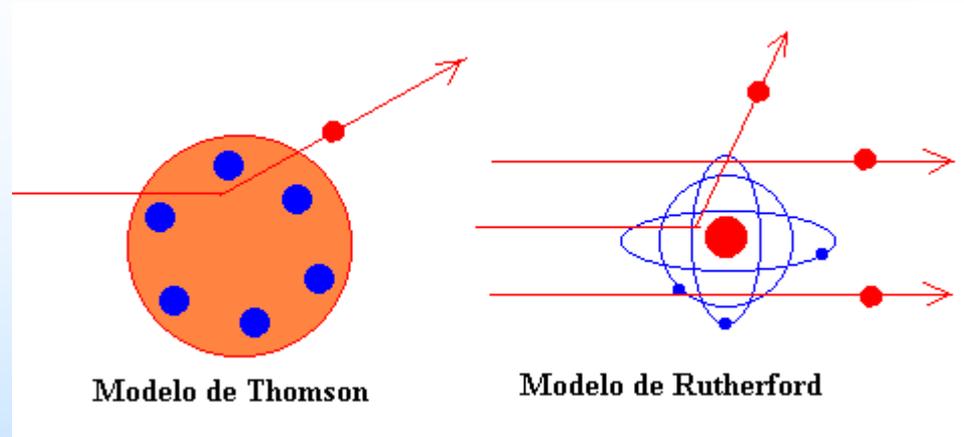
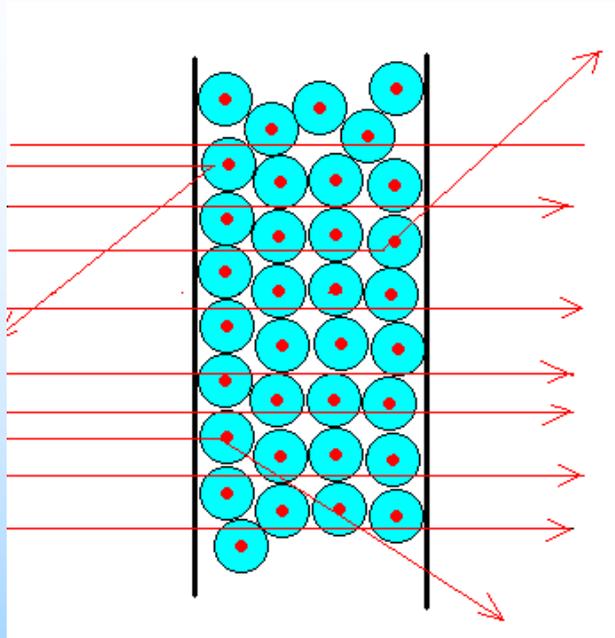
A ideia de Rutherford



O modelo atômico de Rutherford



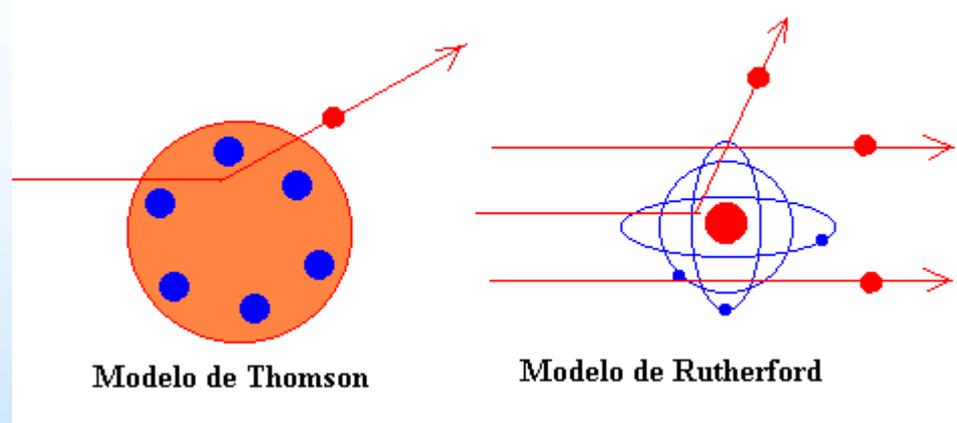
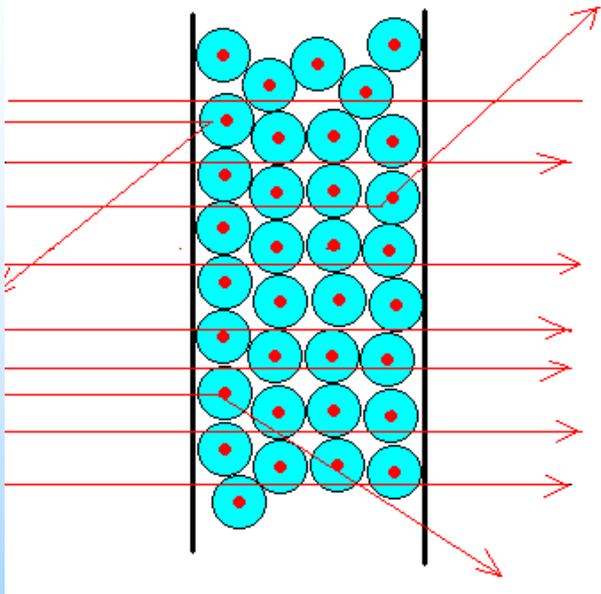
O modelo atômico de Rutherford



1911 Rutherford propõe seu modelo atômico:

- O átomo de um elemento A,Z é formado por A prótons, Z elétrons e (A-Z) elétrons nucleares;
- Praticamente toda a massa dos átomos está contida no núcleo com dimensão $\sim 10^{-14}$ m.

O modelo atômico de Rutherford



Modelo de Thomson

Modelo de Rutherford

Nascimento da
Física Nuclear

1911 Rutherford propõe seu modelo atômico:

- O átomo de um elemento A, Z é formado por A prótons, Z elétrons e $(A-Z)$ elétrons nucleares;
- Praticamente toda a massa dos átomos está contida no núcleo com dimensão $\sim 10^{-14}$ m.

