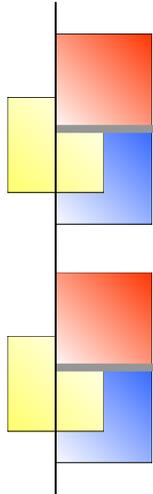


INSTITUTO DE FÍSICA
Universidade Federal Fluminense

Física IV



Cap 38 - O fim da física clássica

Prof. Carlos Eduardo (Cadu)

Niterói, Setembro/2016

Objetivos:

- Entender como ocorreu a descoberta das propriedades atômicas da matéria.
- Como os átomos emitem luz?
- Como o núcleo atômico foi descoberto?
- Entender como nasceu a Física Quântica.

As duas nuvens de Lord Kelvin...

No clima de virada do século XIX para o século XX, em uma conferência em abril de 1900, Lord Kelvin, partidário da visão mecanicista, afirmou que no Céu Azul da Física Clássica só existiam duas nuvens: *o problema da não detecção do Éter e o problema da partição da Energia.*

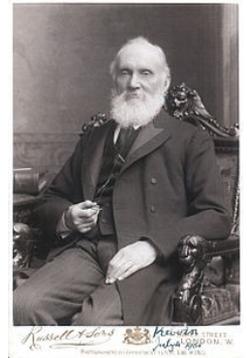
As duas nuvens de Lord Kelvin...

No clima de virada do século XIX para o século XX, em uma conferência em abril de 1900, Lord Kelvin, partidário da visão mecanicista, afirmou que no Céu Azul da Física Clássica só existiam duas nuvens: *o problema da não detecção do Éter e o problema da partição da Energia.*

**William
Thomson, 1º
barão Kelvin**

A Escala Kelvin tem esse
nome em sua
homenagem...

créditos: wikipedia



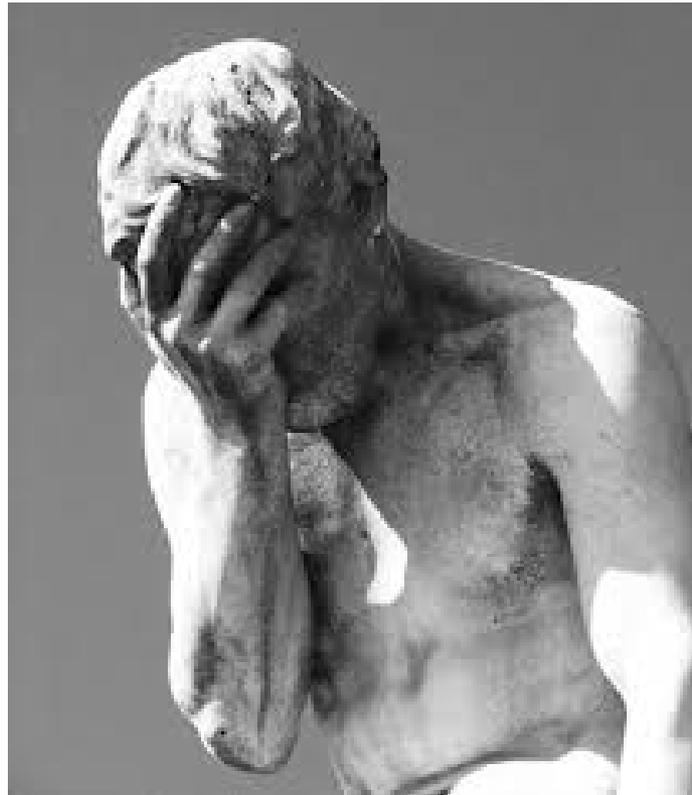
As duas nuvens de Lord Kelvin...

No clima de virada do século XIX para o século XX, em uma conferência em abril de 1900, Lord Kelvin, partidário da visão mecanicista, afirmou que no Céu Azul da Física Clássica só existiam duas nuvens: *o problema da não detecção do Éter e o problema da partição da Energia.*

*A dissipação dessas nuvens foi o ponto de partida para a mudança radical de conceitos da Física, resultando na Criação das **Físicas Quântica e Relativísticas**, abrindo portas a uma nova era tecnológica que mudou radicalmente a sociedade.*

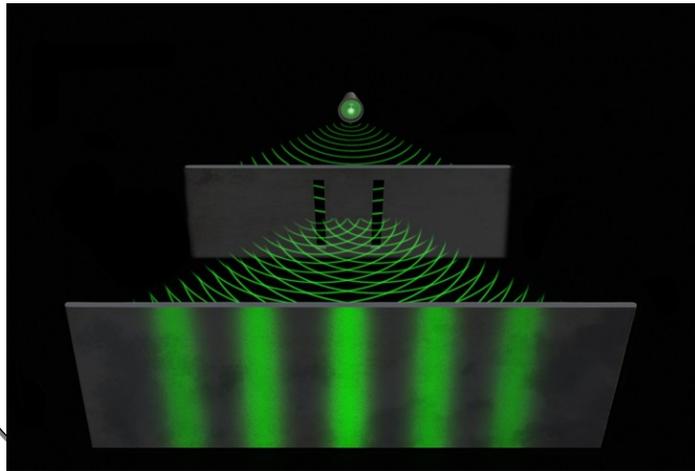
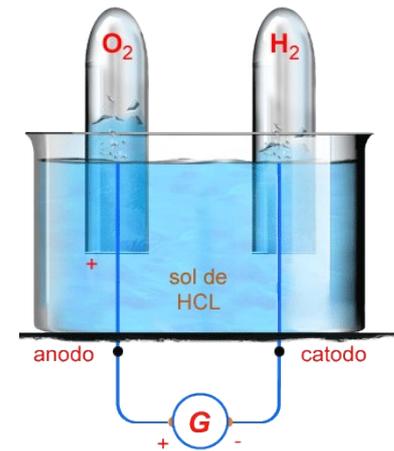
O Fim da Física Clássica

A Física Clássica (Mec. Newtoniana, Termodinâmica e Eletromagnetismo) era um tremendo fracasso quando aplicada aos sistemas atômicos.



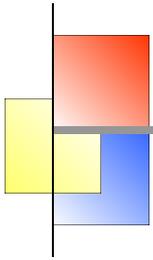
No fim do séc. XIX os cientistas questionavam basicamente três assuntos:

- *Matéria: Evidências apontadas com a Termodinâmica – sucesso na explicação dos gases... (Dalton e as massas relativas dos átomos)*
- *Eletricidade: Eletrólise: a água não é mais substância elementar*



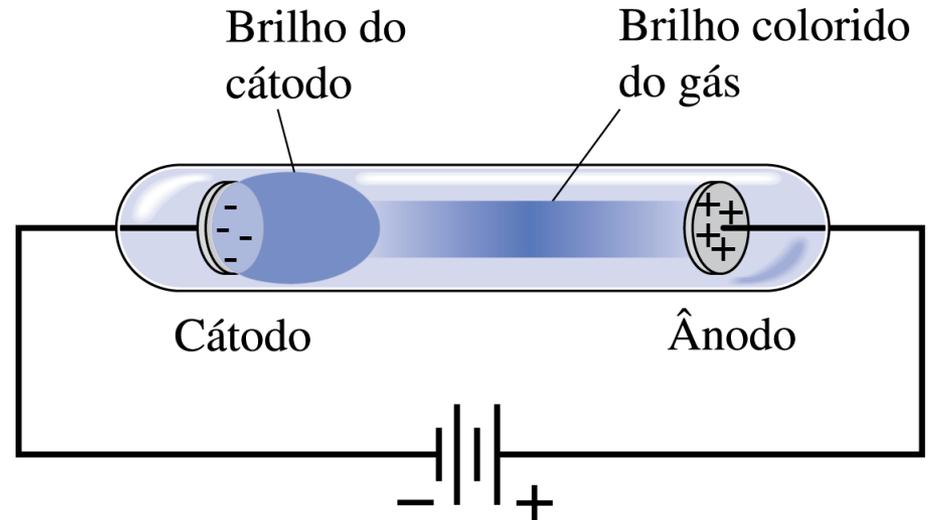
- Luz (Experimento da Fenda Dupla de Thomas Young)

Tecnologia fundamental



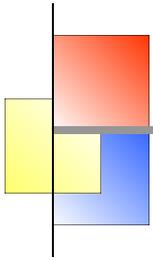
Tubo de descarga em gás de Michael Faraday.

Faraday queria saber se o ar conduz eletricidade...

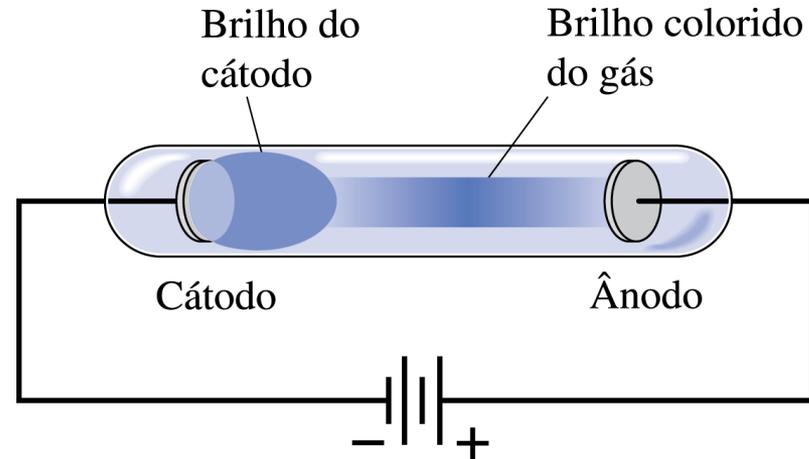


No experimento de Faraday o gás era ar (basicamente N_2) – roxo.

Tecnologia fundamental



Tubo de descarga em gás de Michael Faraday.



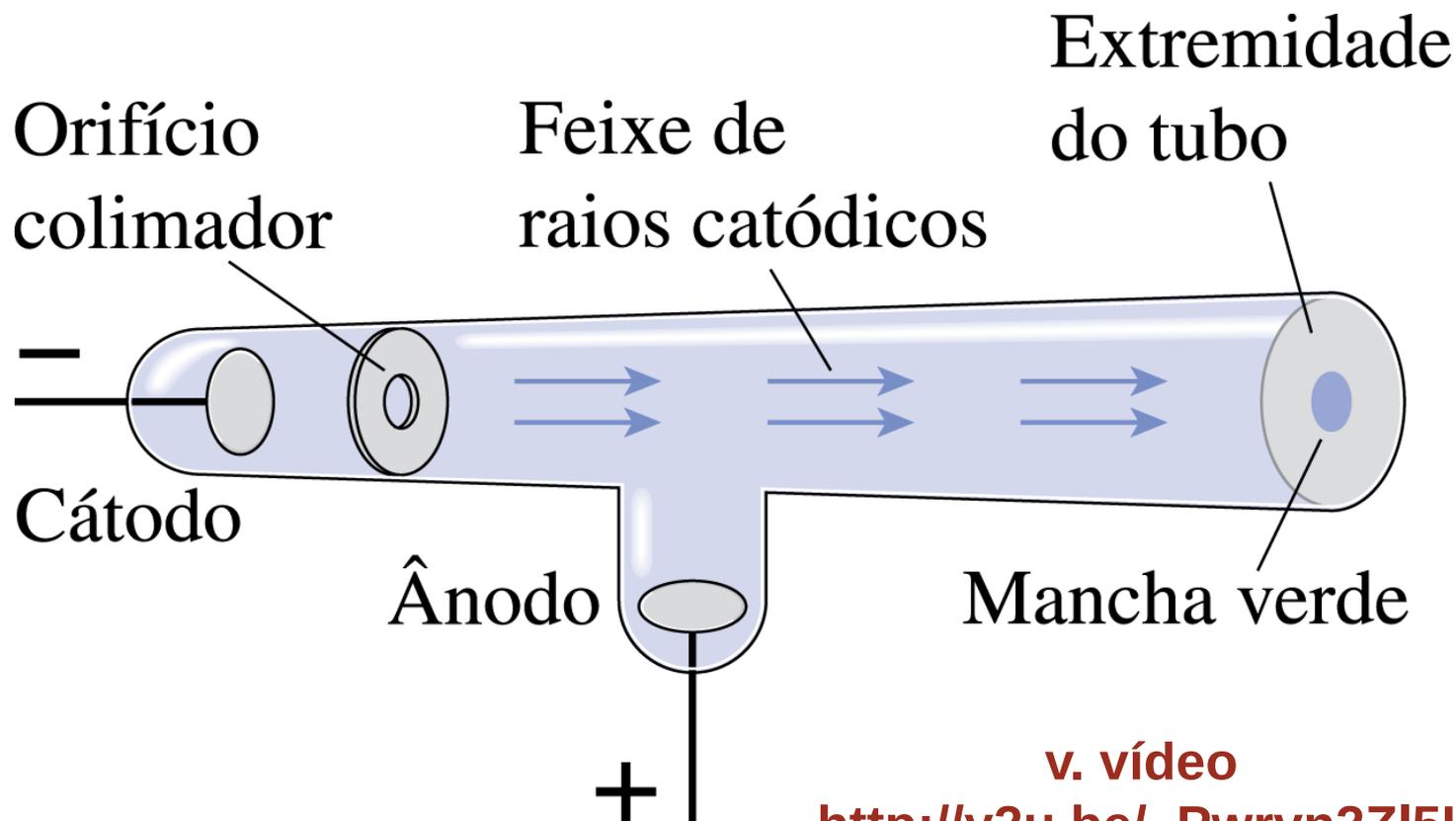
Conclusões de Faraday:

- 1) A corrente flui através do gás a baixa pressão.
- 2) A cor da luz emitida pela descarga depende do gás.
- 3) Independente do tipo de gás, existe um brilho constante em torno do cátodo)

Tubos de Crookes

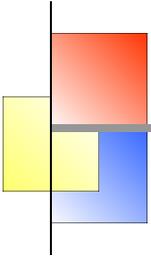
William Crookes, cientista inglês.

Na década de 1870 desenvolveu um conjunto aperfeiçoado de tubos de vidro para estudos minuciosos dos raios catódicos.

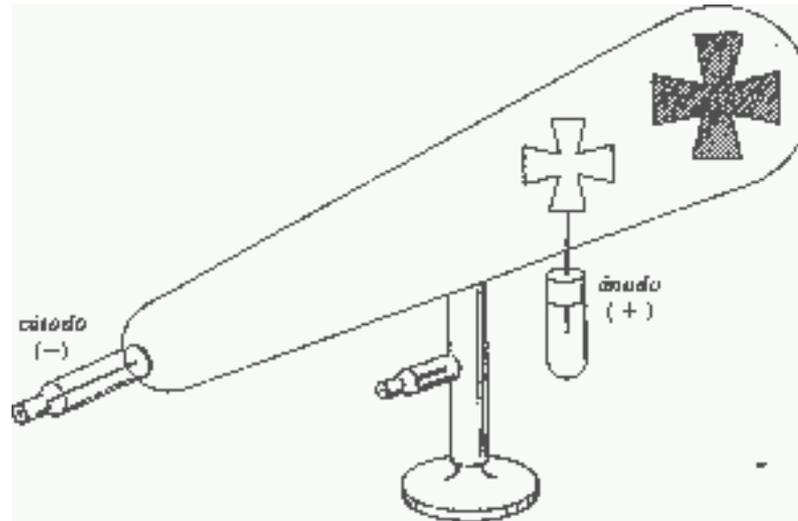


v. vídeo
http://y2u.be/_Pwrvn2ZI5U

Tubos de Crookes



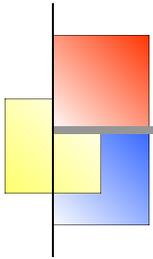
Julius Plucker, ~1850



v. vídeo

http://y2u.be/_Pwrvn2ZI5U

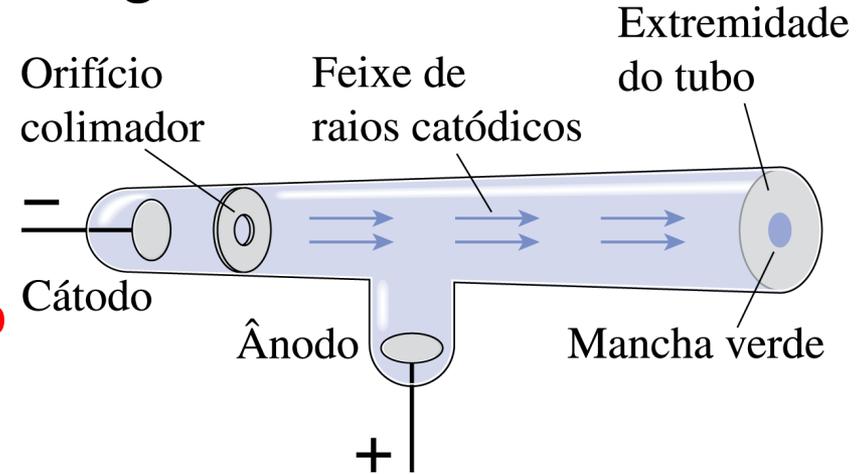
Tubos de Crookes



William Crookes, cientista inglês.

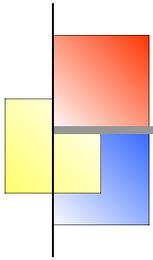
Algumas conclusões de Crookes:

- 1) Existe uma corrente elétrica no tubo.
- 2) Os raios são desviados por um campo magnético.
- 3) Os raios catódicos independem do metal do qual é feito o cátodo.
- 4) Os raios podem exercer forças sobre objetos e transferir energia.



P: qual dessas observações é inconsistente com a hipótese dos 'raios' serem uma forma de radiação eletromagnética?

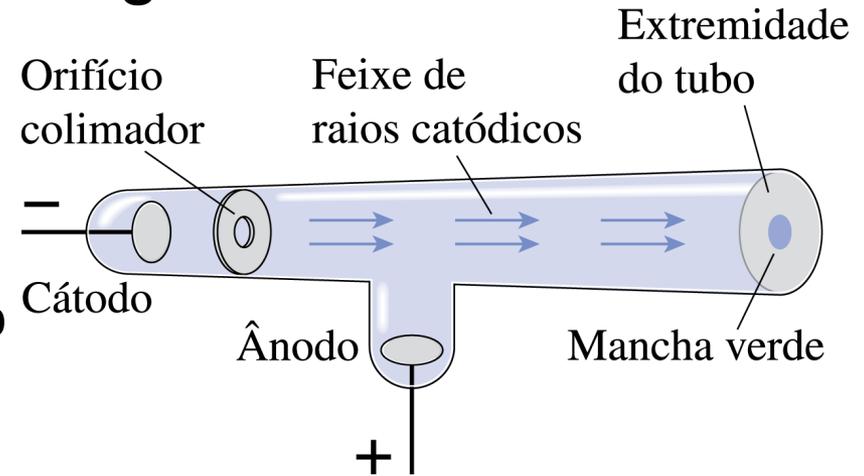
Tubos de Crookes



William Crookes, cientista inglês.

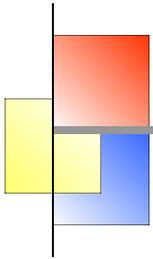
Algumas conclusões de Crookes:

- 1) Existe uma corrente elétrica no tubo.**
- 2) Os raios são desviados por um campo magnético.**
- 3) Os raios catódicos independem do metal do qual é feito o cátodo.**
- 4) Os raios podem exercer forças sobre objetos e transferir energia.**



P: qual dessas observações é inconsistente com a hipótese dos 'raios' serem uma forma de radiação eletromagnética?

Tubos de Crookes



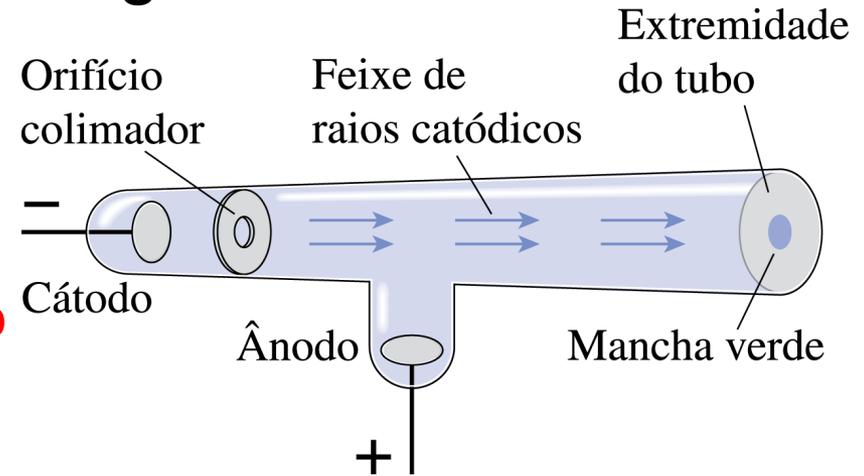
William Crookes, cientista inglês.

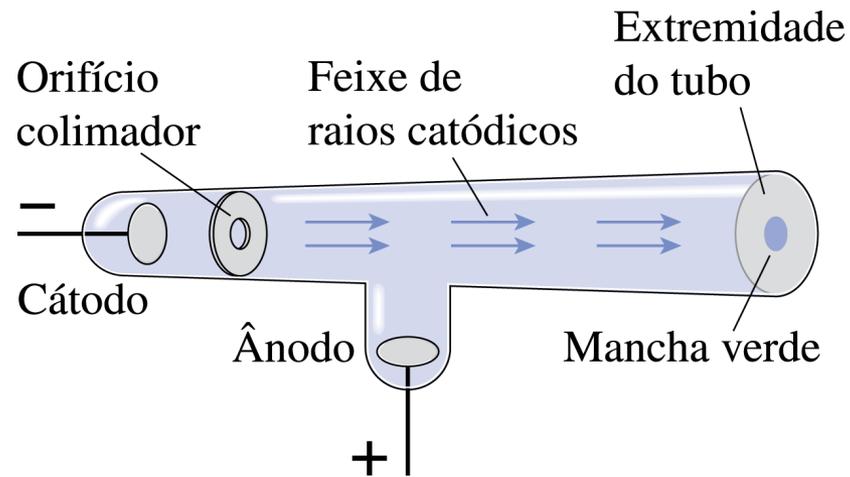
Algumas conclusões de Crookes:

- 1) Existe uma corrente elétrica no tubo.
- 2) Os raios são desviados por um campo magnético.
- 3) Os raios catódicos independem do metal do qual é feito o cátodo.
- 4) Os raios podem exercer forças sobre objetos e transferir energia.

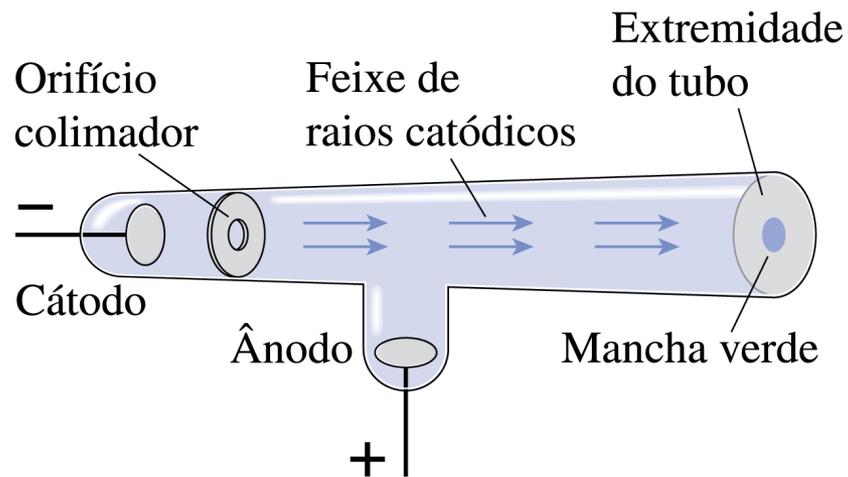
Hipótese de Crookes: corrente seria formada por moléculas do gás que colidiram com o cátodo, adquiriram (de algum modo) carga negativa e então foram repelidas em alta velocidade pelo cátodo.

Ideia imediatamente atacada – o raio percorria 90 cm no tubo, mas uma molécula só poderia percorrer 6 mm em média antes de colidir com outra.





A controvérsia entre partículas e ondas no experimento de Crookes foi grande...



A controvérsia entre partículas e ondas no experimento de Crookes foi grande...

Alguma pista???



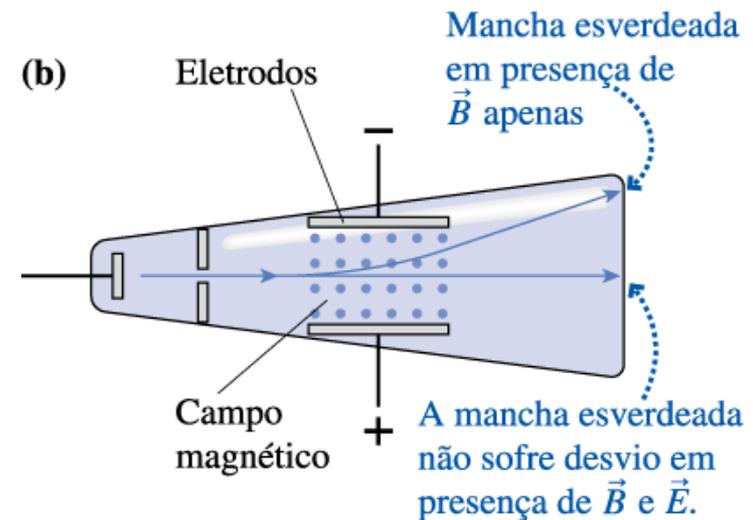
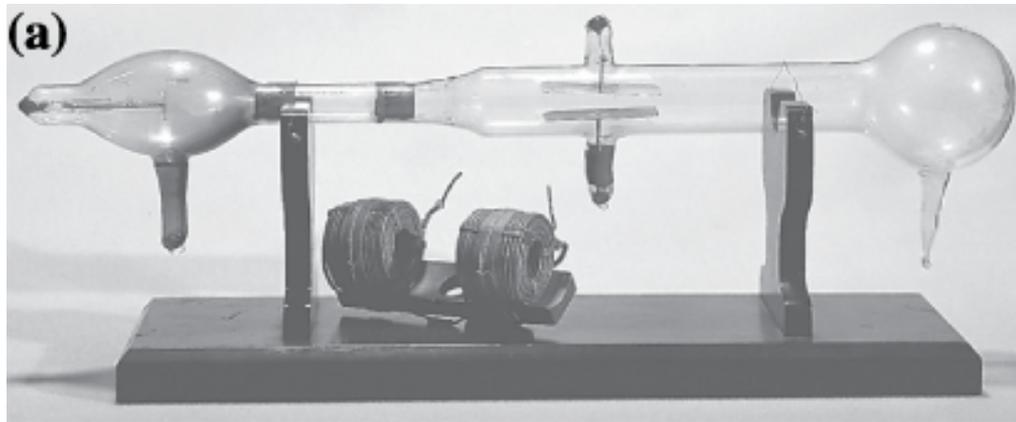


O “átomo grego indivisível” é divisível!

J. J. Thomson → usando raios x, recém descobertos, evidencia, pela primeira vez na história que os átomos podem ser ionizados, isto é, podem ser dissociados.

J. J. Thomson: A descoberta do elétron (1897)

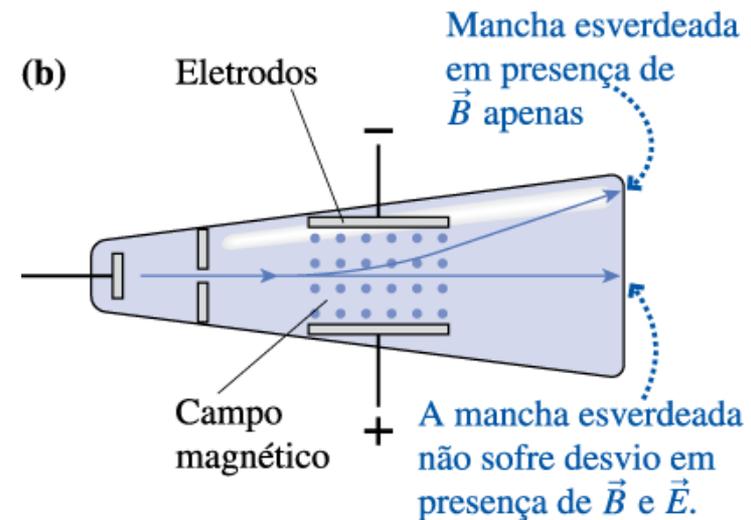
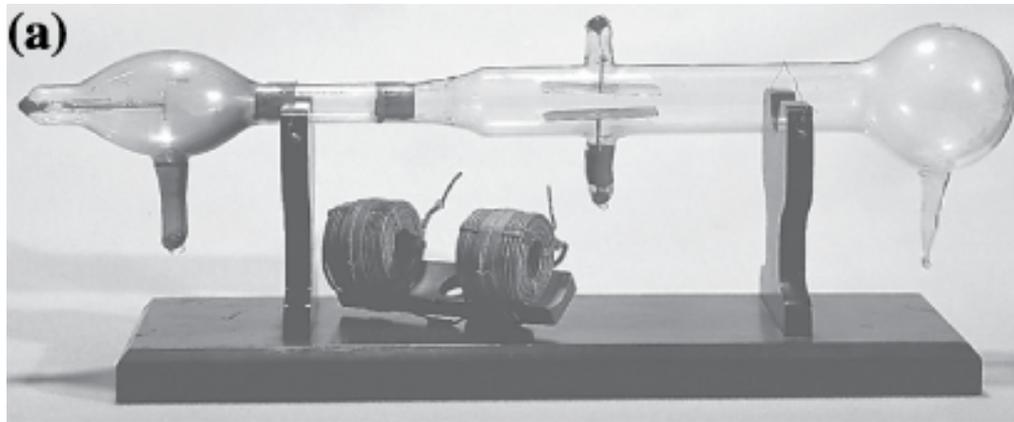
Experimento (1895) submetendo raios catódicos a campos E e B cruzados.



O que são essas partículas carregadas?

J. J. Thomson: A descoberta do elétron (1897)

Experimento (1895) submetendo raios catódicos a campos E e B cruzados.

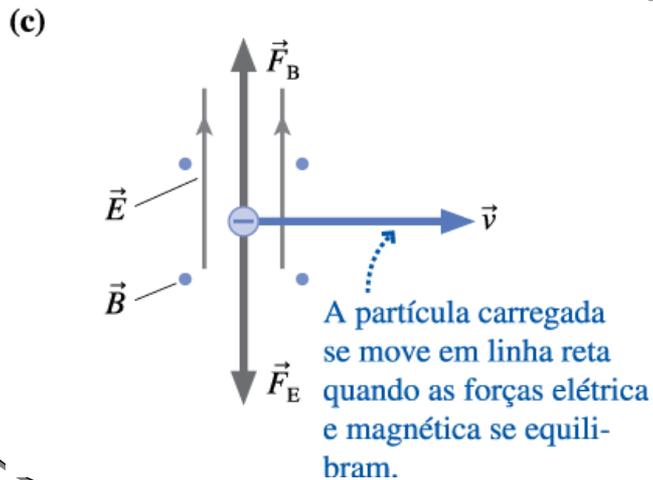
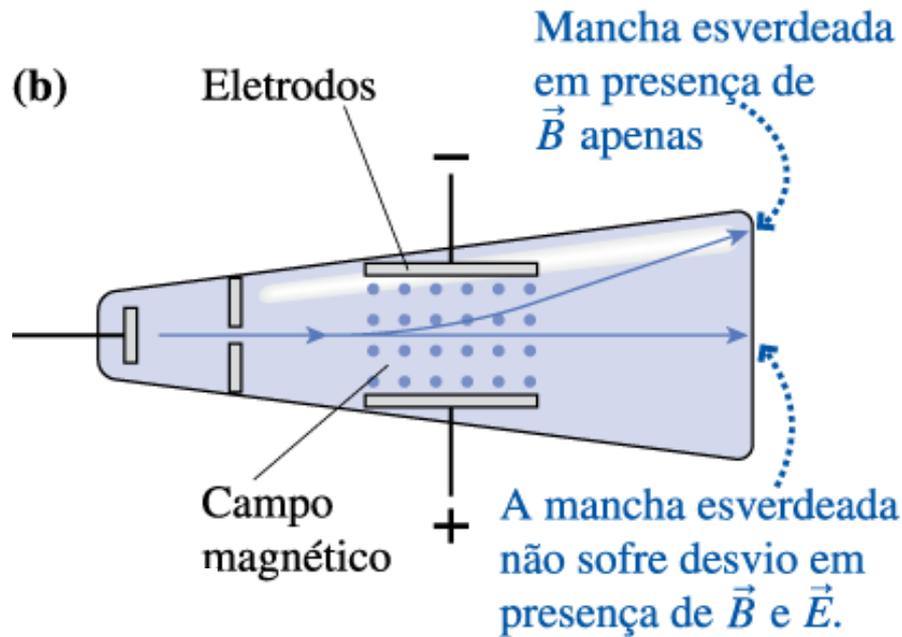


Ligando apenas o campo B: trajetória circular de raio R satisfazendo

$$qvB = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$$

A descoberta do elétron (1897)

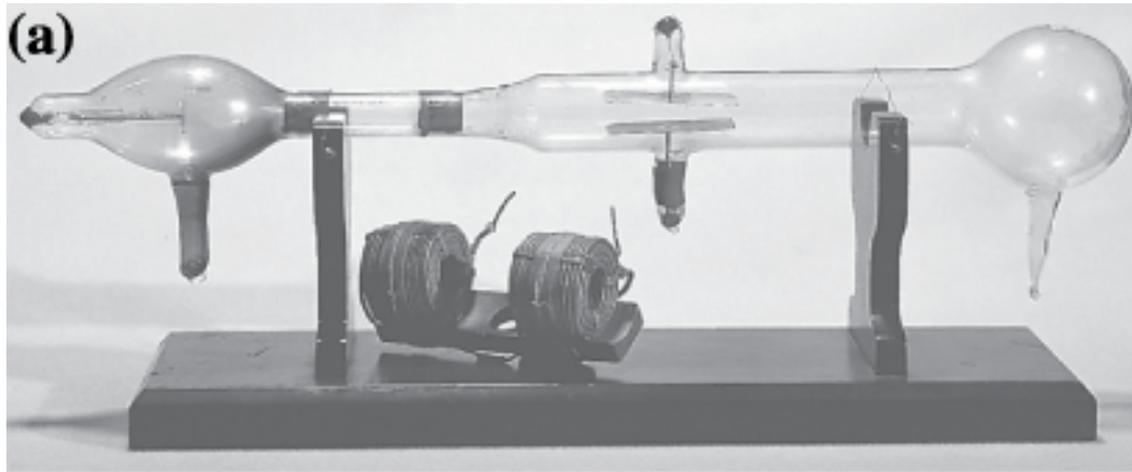
Experimento (1895) submetendo raios catódicos a campos E e B cruzados:



O valor de v pode ser obtido aplicando ainda uma força eletrostática calibrada para cancelar a força magnética:

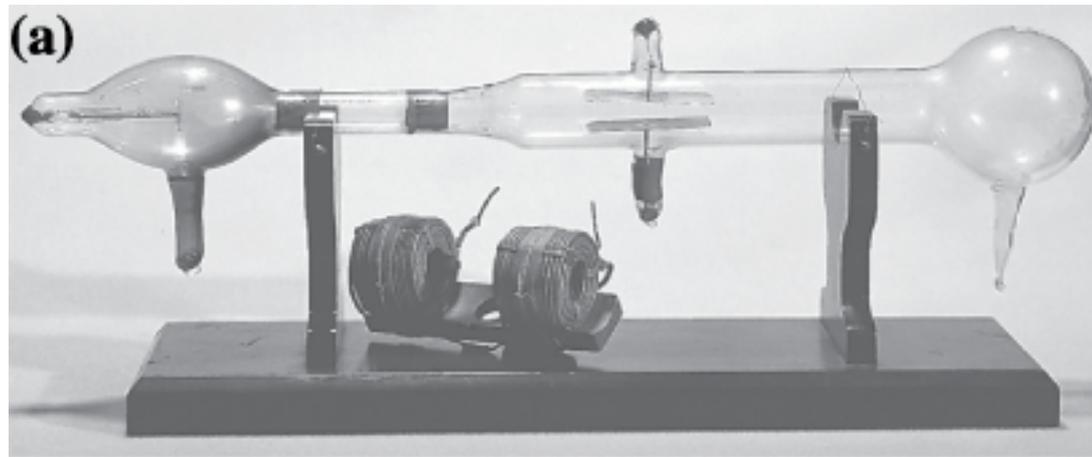
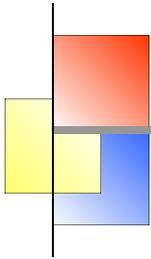
$$qvB = qE \Rightarrow v = \frac{E}{B}$$

A descoberta do elétron (1897)



Thomson obteve assim a razão **q/m** (**carga/massa**) dos constituintes dos 'raios'. O valor obtido (**$q/m \sim 10^{11}$ C/Kg**) era mais de 1000 vezes maior que o q/m do Hidrogênio!

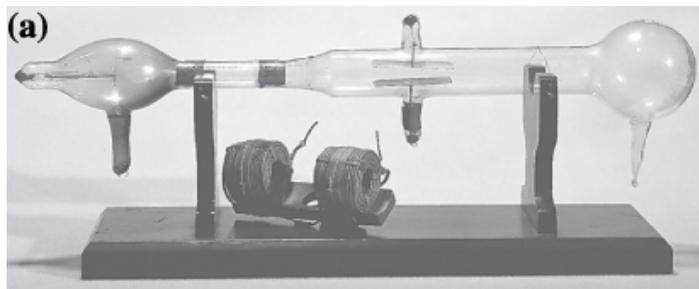
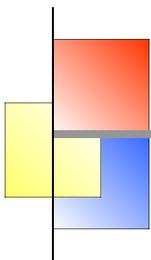
A descoberta do elétron (1897)



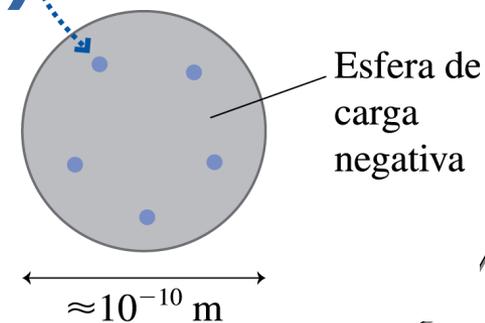
Conclusão (1897): raios catódicos são partículas negativas e com massa inferior à dos átomos – **SE TRATA DE UMA PARTÍCULA SUBATÔMICA, UM DOS CONSTITUINTES DO ÁTOMO.**

Prêmio Nobel de 1906

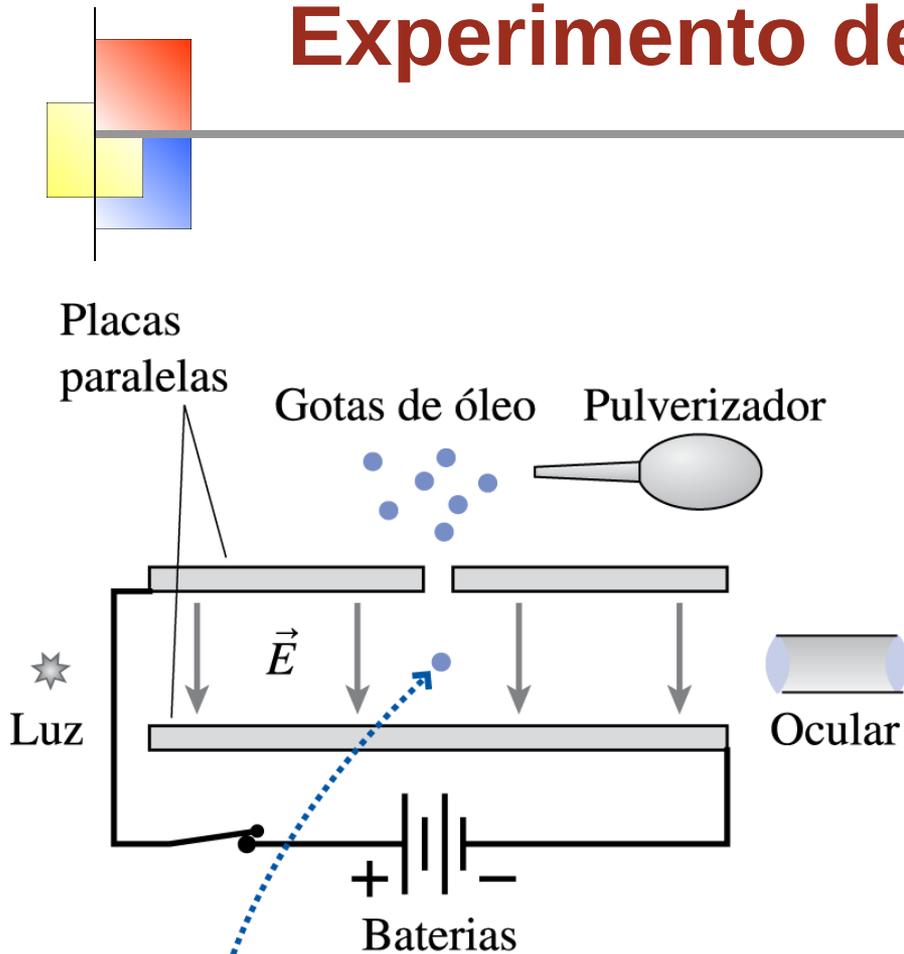
A descoberta do elétron (1897)



Modelo atômico de Thomson (Pudim de Passas)



Experimento de Millikan (1906)



A força elétrica orientada para cima sobre uma gota carregada negativamente equilibra a força gravitacional orientada para baixo.

$$q_{gota} = \frac{m_{gota}g}{E}$$

valores obtidos para q_{gota} :
sempre múltiplos inteiros da
carga fundamental

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

como já se conhecia q/m , foi possível então
determinar a ***massa do elétron***

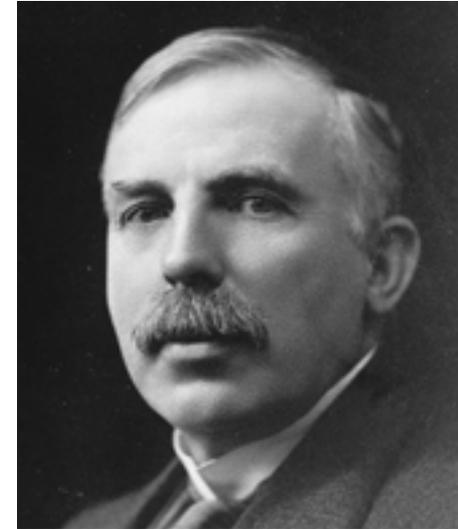
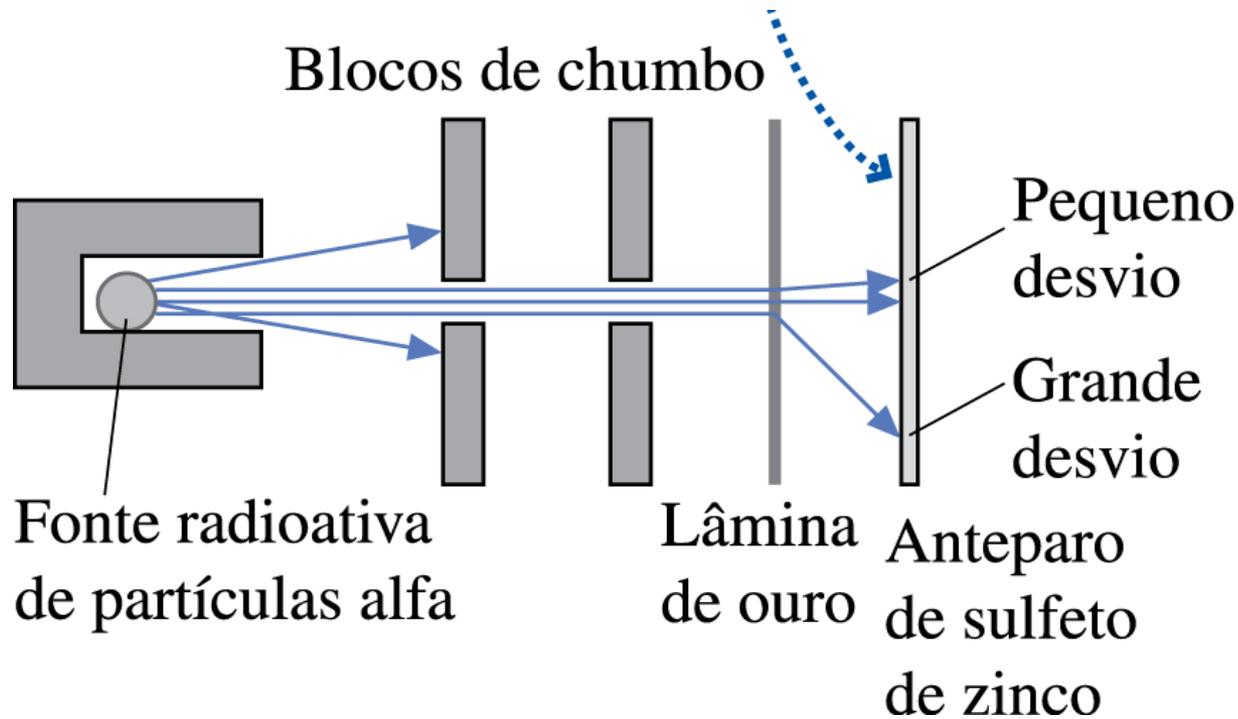
$$m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ Kg}$$

Os experimentos de **Milikan, Thomson** e outros cientistas forneceram evidências indiscutíveis de que a carga elétrica existe em qdes discretas e que todas as cargas encontradas na natureza são múltiplas da *carga elétrica fundamental e*.

$$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Experimento de Rutherford (1909)

Aluno de Thomson – Ernest Rutherford (neozelandês)



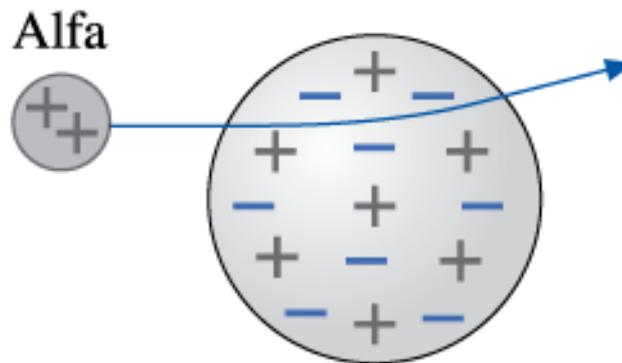
v. vídeo

<http://y2u.be/XBqHkraf8iE>

Experimento de Rutherford (1909)

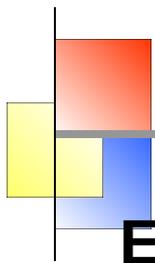
Aluno de Thomson – Ernest Rutherford (neozelandês)

Se o átomo fosse como Thomson havia sugerido, JAMAIS uma partícula alfa seria retroespalhada.



A partícula alfa é minimamente desviada por um átomo de Thomson, pois as forças das cargas positivas e negativas espalhadas praticamente se cancelam.

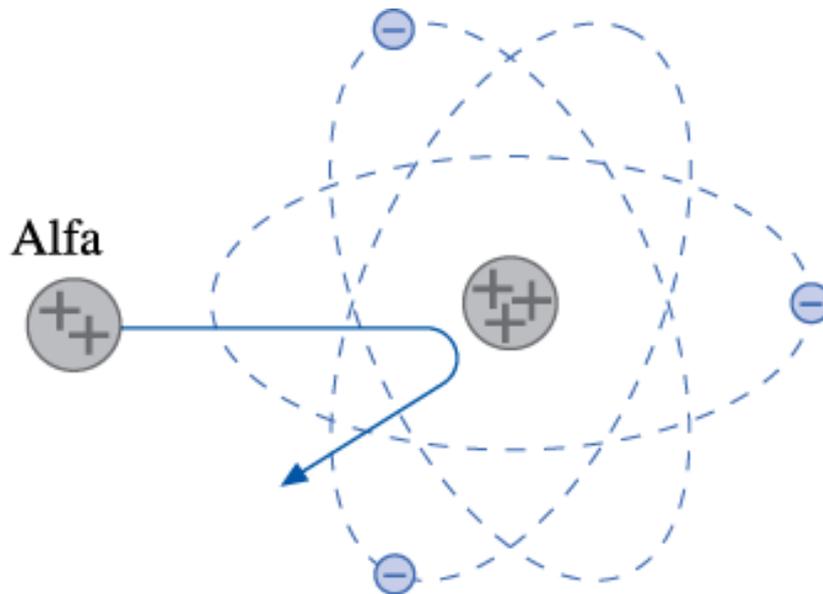
Experimento de Rutherford (1909)



Este foi o modelo atômico proposto por Rutherford.

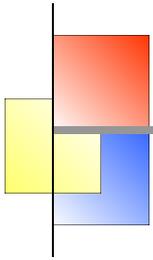
Algumas partículas eram desviadas em altos ângulos e algumas eram retroespalhadas.

(b)



Observem que a maior parte do átomo é espaço vazio.

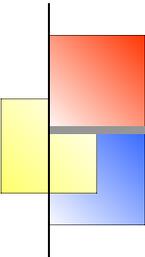
Se o átomo contivesse um núcleo positivo e de grande massa específica, algumas partículas alfa chegariam muito perto do núcleo e sofreriam, assim, uma força repulsiva muito intensa.



Experimento de Rutherford (1909)

Por que o modelo de Rutherford para os átomos não pode ser verdadeiro?

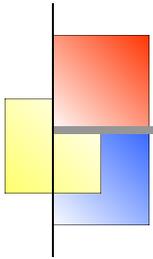
- A) Pois é impossível haver tanto espaço vazio na matéria
- B) Pois os elétrons teriam de perder energia ao orbitar os núcleos, eventualmente caindo nele
- C) Pois os núcleos teriam de se autodestruir por repulsão Coulombiana
- D) Pois os elétrons se ejetariam espontaneamente devido à sua repulsão mútua



Experimento de Rutherford (1909)

Por que o modelo de Rutherford para os átomos não pode ser verdadeiro?

- A) Pois é impossível haver tanto espaço vazio na matéria
- B) Pois os elétrons teriam de perder energia ao orbitar os núcleos, eventualmente caindo nele
- C) Pois os núcleos teriam de se autodestruir por repulsão Coulombiana (precisa da existência de alguma força de coesão no interior do núcleo)
- D) Pois os elétrons se ejetariam espontaneamente devido à sua repulsão mútua

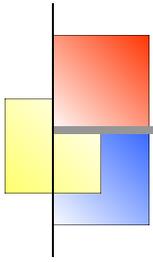


Experimento de Rutherford (1909)

Por que o modelo de Rutherford para os átomos não pode ser verdadeiro?

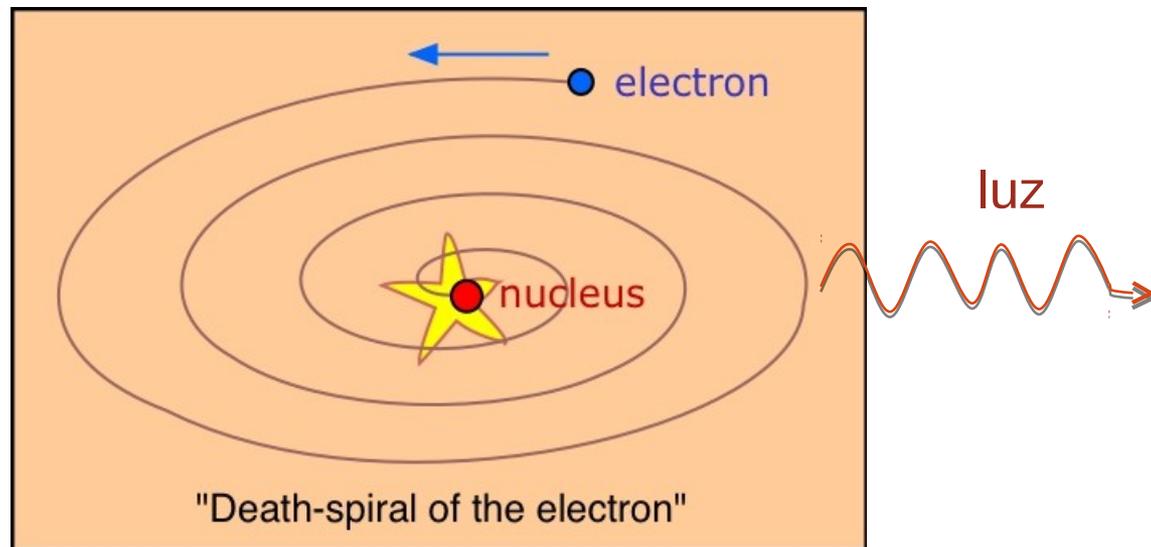
- A) Pois é impossível haver tanto espaço vazio na matéria
- B) Pois os elétrons teriam de perder energia ao orbitar os núcleos, eventualmente caindo nele**
- C) Pois os núcleos teriam de se autodestruir por repulsão Coulombiana (precisa da existência de alguma força de coesão no interior do núcleo)
- D) Pois os elétrons se ejetariam espontaneamente devido à sua repulsão mútua

Experimento de Rutherford (1909)



B. Pois os elétrons teriam de perder energia ao orbitar os núcleos, eventualmente caindo nele

Motivo: um elétron em “órbita” estaria em **movimento acelerado**. Pelas equações de Maxwell, ele se comportaria então como uma **antena**, ie, emitiria radiação (luz). Mas aí rapidamente perderia energia até cair no núcleo!!!
A Física clássica prevê que os átomos seriam instáveis !!



QUESTÃO ALTERADA DEPOIS DA AULA!!

1- Num dado acelerador de partículas, um elétron pode ser acelerado até energias de 3,633 MeV, ao longo de um percurso circular. Em seguida, o elétron com energia máxima segue uma trajetória linear de 2970 m até atingir um alvo, segundo observadores do laboratório. Determine:

A) o intervalo de tempo que um elétron leva para atravessar o percurso linear, segundo um observador do laboratório.

B) o intervalo de tempo que um elétron leva para atravessar o percurso linear, segundo um observador para o qual o elétron está em repouso.

C) o comprimento do percurso linear, segundo um observador para o qual o elétron está em repouso.

SOLUÇÃO:

$$\begin{aligned} E &= 3,633 \text{ MeV} \\ &= 3,633 \times 1,6 \times 10^{+6-19} \\ &= 5,813 \times 10^{-13} \text{ J} \end{aligned}$$

Sabendo que: $E = \gamma m_e c^2 \rightarrow \gamma = 7,088 \rightarrow v = 0,99c$

1) $\Delta t = \frac{2970}{0,99c} = \frac{2970}{0,99 \cdot 3 \times 10^8} = \frac{2970}{2,97 \times 10^8} = 1 \times 10^{-5} = 0,1 \mu\text{s}$

2) Usando as TL's, no ref. do elétron: $\Delta x' = 0$

$$\Delta t = \gamma (\Delta t' + v \frac{\Delta x'}{c^2})$$

$$\Delta t' = \Delta \tau = \Delta t / \gamma = 14 \text{ ns}$$

3) Usando as TL's, devemos tomar $\Delta t' = 0$ p/ medida de comprimento

$$\Delta x = \gamma (\Delta x' + v \Delta t')$$

$$\Delta x' = \frac{\Delta x}{\gamma} = \frac{L}{\gamma} = \frac{2970}{7,088} = 419 \text{ m}$$

Se $\frac{\Delta x'}{\Delta t'} = \frac{\Delta t / \gamma}{L / \gamma} = v$, de forma que não existe

conflito entre as velocidades medidas nos dois refs.