

Evidências Experimentais da Natureza Quântica da Matéria

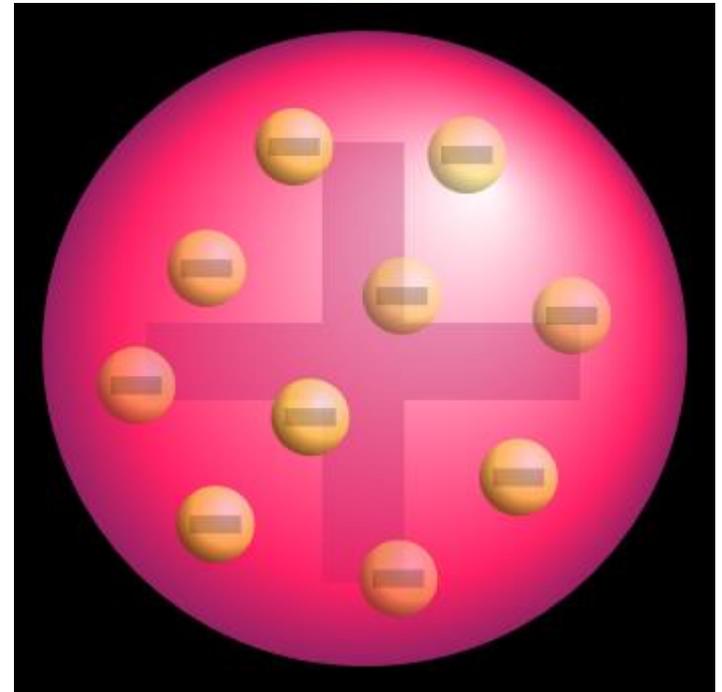
O modelo atômico de Thomson e de Rutherford

Rosangela Itri

[Agradecimentos: prof Marcelo Munhoz](#)

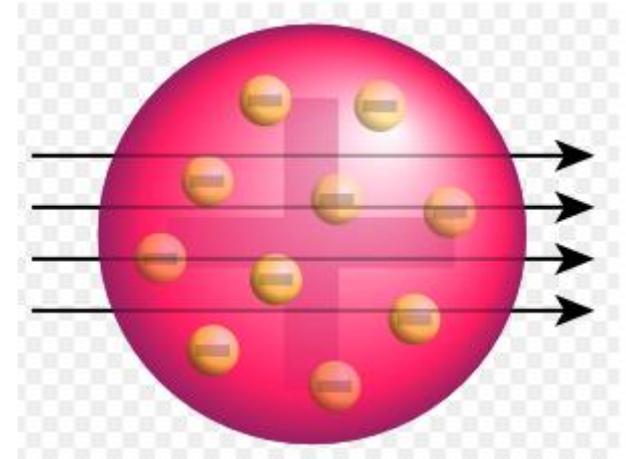
1904 - O Modelo Atômico de Thomson

- *Philosophical Magazine*, 7 (1904), 237
- A partir da descoberta dos elétrons (carga negativa corresponde a corpúsculos), Thomson propõe um modelo atômico, chamado de “pudim de passas”.



Como testar o modelo de Thomson?

- Através do “bombardeamento” do átomo com diferentes partículas
- No caso do modelo de Thomson, se espera que as deflexões sejam pequenas: massa do elétron \ll massa da partícula- α



Dados observados

- Geiger e Marsden (1909) observam o resultado do bombardeamento de elétrons e partículas- α em finas folhas de certos materiais
- Para a surpresa de todos, eles observam partículas espalhando em ângulos bastante traseiros

Fig. (D) Scattering of α rays by an atom

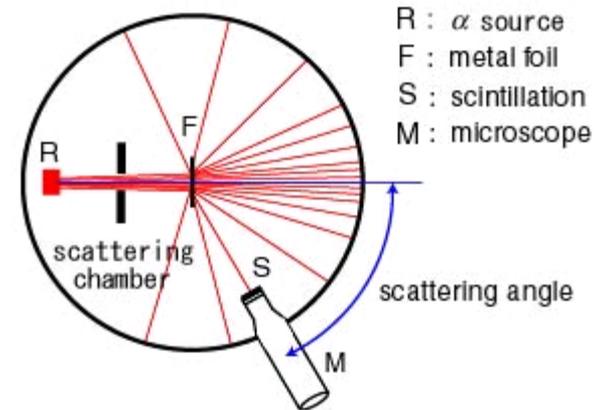
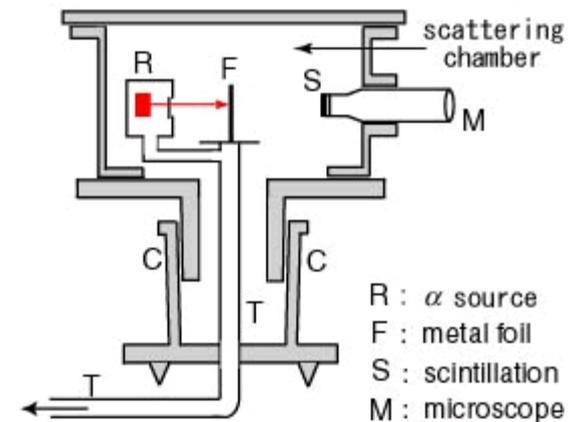


Fig. (E) Setting of the experiment

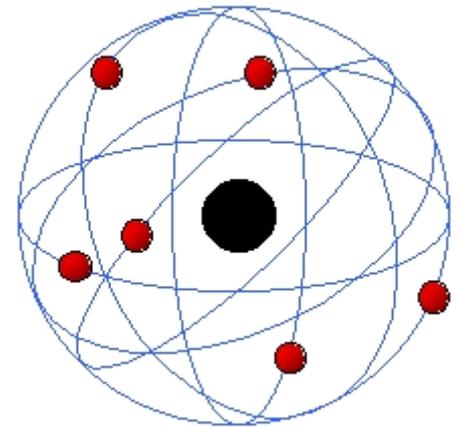
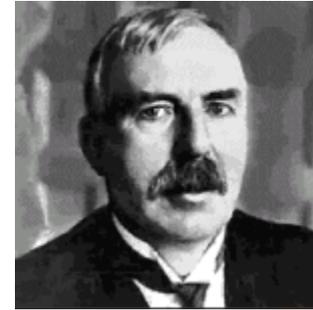


1911 - Rutherford propõem a existência do núcleo atômico

- Rutherford demonstra quantitativamente que os resultados de Geiger e Marsden seriam obtidos a partir de novas hipóteses para o modelo atômico.
- A partir dessas novas hipóteses, ele calcula quantas partículas- α deveriam ser vistas em função do ângulo de espalhamento.

1911 - Rutherford propõem a existência do núcleo atômico

- As hipóteses para o modelo atômico e a sua interação são:
 - A mecânica clássica é válida;
 - O átomo contém um núcleo de carga $+Ze$ e Z elétrons orbitando a sua volta;
 - Somente a força Coulombiana agindo;
 - O núcleo e a partícula incidente são pontos;
 - O núcleo alvo não sofre recuo;
 - Nenhuma mudança ocorre no estado do alvo ou da partícula incidente;

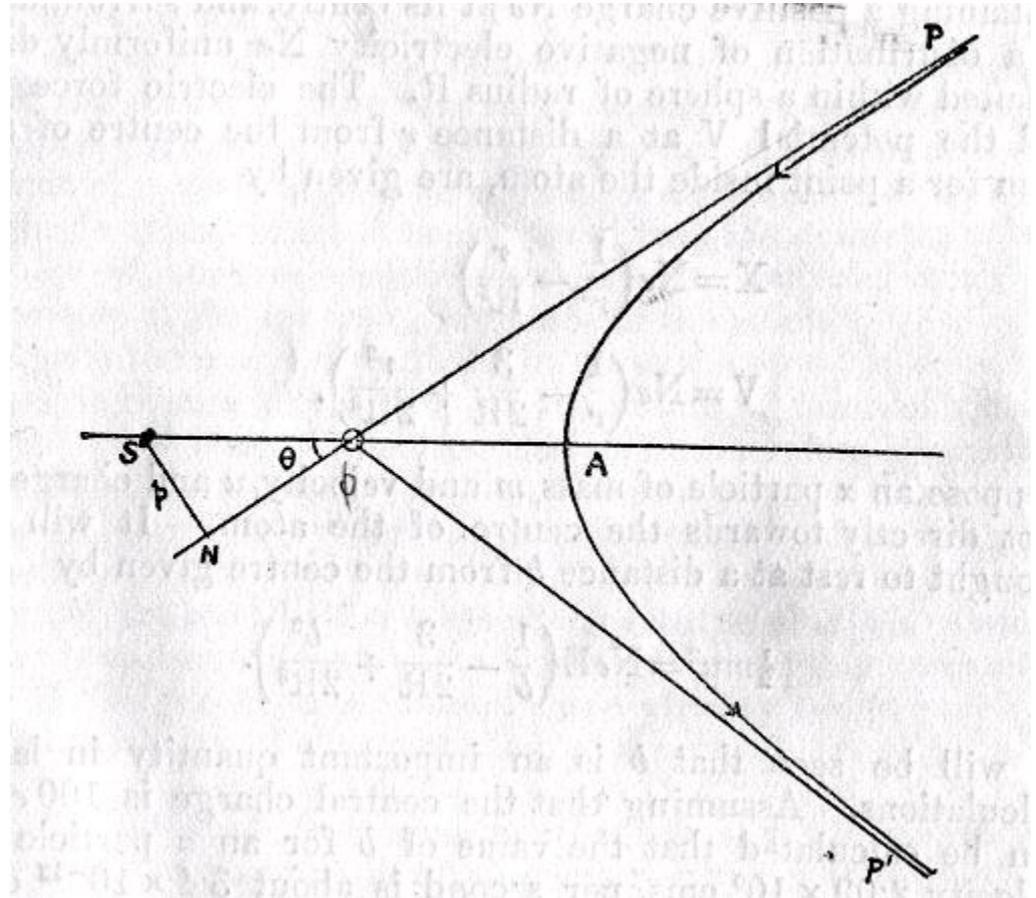


Rutherford (1911)

- **Objetivo:** calcular o número de partículas espalhadas em função do ângulo.
- **1º passo:** o ângulo de espalhamento da partícula incidente depende da proximidade da colisão. Portanto, é preciso calcular o ângulo de espalhamento em função da proximidade, ou **parâmetro de impacto**, da colisão.

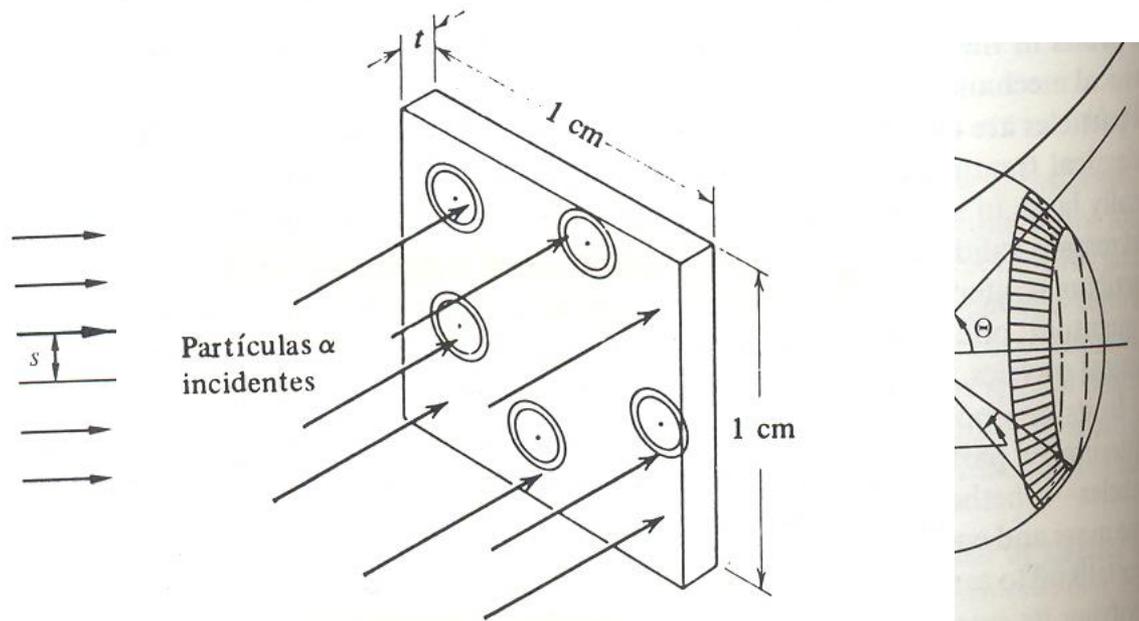
Rutheford (1911) - Mecânica Clássica

- **Força central que varia com o inverso da distância: órbita hiperbólica, onde O é o centro e S é o foco (localização da força central)**



Rutherford (1911)

- **2º passo:** Qual a probabilidade de uma partícula interagir com o núcleo e ser espalhada em um ângulo θ ?



Dados observados

- Geiger e Marsden, em nova e mais precisa medida (1911), observaram que:
 - A distribuição angular variava com $1/\text{sen}^4(\theta/2)$, para $5^\circ < \theta < 150^\circ$;
 - A intensidade de partículas espalhadas era proporcional a espessura da folha;
 - A intensidade de partículas espalhadas era proporcional ao quadrado do peso atômico (medido para Al, Cu, Ag, Sn e Au).

Dados observados

- Rutherford foi capaz de estimar o raio do núcleo, a partir da distância de maior aproximação:

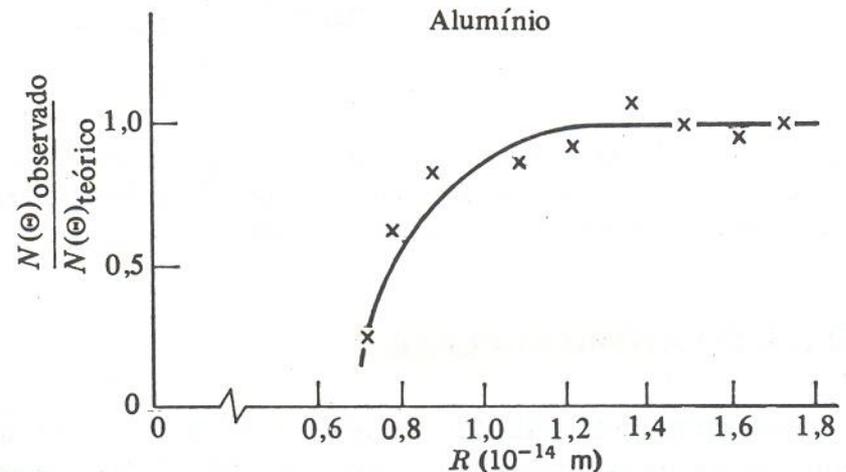
$$a = \frac{Zze^2}{4\pi\epsilon_0 \left(\frac{mv^2}{2} \right)}$$

- Ele obteve valores da ordem de 10^{-15} m (1 fm) para partículas α com $p \sim 5 \text{ MeV}/c$!!!

Dados observados

- Em experiências com Al e Mg, inicialmente E. Bieler e, em seguida o próprio Rutherford, observaram que esse modelo não era mais válido:

$$a = \frac{Zze^2}{4\pi\epsilon_0 \left(\frac{mv^2}{2} \right)}$$



Rutherford (1911)

- Vimos que Rutherford deduziu a seguinte expressão para o espalhamento de partículas- α em um ângulo θ quando um feixe incide sobre um alvo fino de diferentes elementos:

$$dN = N(\theta)d\theta = \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \left(\frac{Zze^2}{2mv^2}\right)^2 \frac{I \cdot \rho \cdot t}{\text{sen}^4\left(\frac{\theta}{2}\right)} 2\pi \cdot \text{sen}(\theta)d\theta$$

Normalizando as medidas: Definição de seção de choque

- Ao incidir um feixe de íons sobre um alvo, o número de núcleos por unidade de tempo que irão interagir com o alvo (N) é proporcional ao número de íons por unidade de tempo no feixe (intensidade do feixe - I) e o número de átomos no alvo por unidade de área (n):

$$N \propto I \cdot n$$

- A constante de proporcionalidade depende dos processos físicos envolvidos na interação e é chamada de **seção de choque** (σ):

$$N = \sigma \cdot I \cdot n$$

Seção de Choque

- A seção de choque tem unidade de área:

$$\sigma = \frac{N}{I \cdot n} \Rightarrow \frac{\textit{partículas/s}}{\textit{partículas/s} \cdot \textit{partículas/área}} = \textit{área}$$

- Ela corresponde a uma área efetiva que o projétil deve entrar para interagir com o alvo
- Uma interpretação melhor para a seção de choque é simplesmente a probabilidade de interação

Seção de choque diferencial

- A seção de choque diferencial ($d\sigma/d\Omega$) fornece o número de partículas espalhadas em um dado elemento de ângulo sólido $d\Omega$, ou seja:

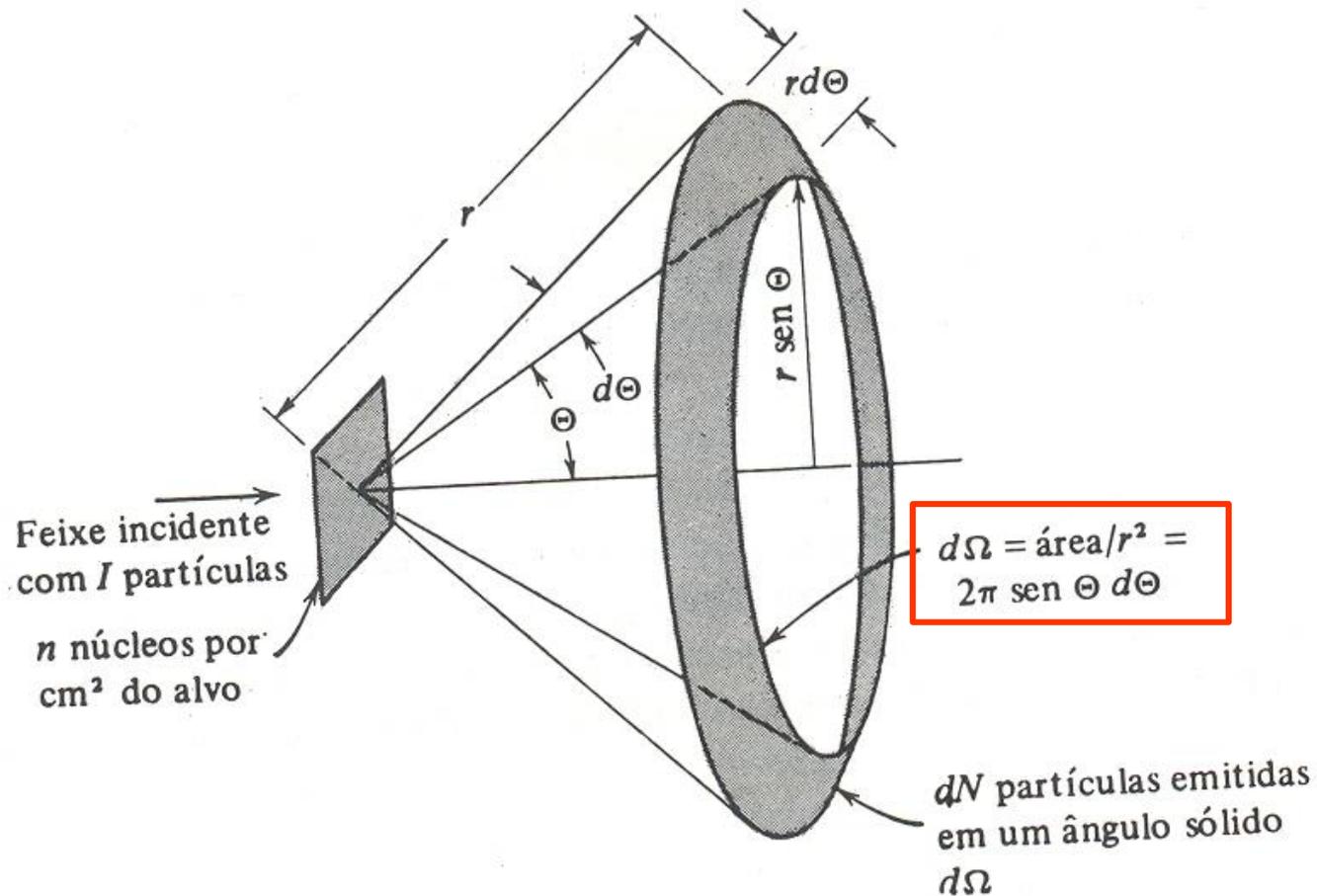
$$dN = \frac{d\sigma}{d\Omega} \cdot I \cdot n \cdot d\Omega$$

– I = intensidade do feixe

– n = centros espalhadores por unidade de área

$$n = \rho \cdot t$$

Seção de choque diferencial



Seção de choque diferencial de Rutherford (clássica)

- Portanto, como: $dN = \frac{d\sigma}{d\Omega} \cdot I \cdot n \cdot d\Omega$

e:

$$dN = N(\theta)d\theta = \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \left(\frac{Zze^2}{2mv^2}\right)^2 \frac{I \cdot \rho \cdot t}{\text{sen}^4\left(\frac{\theta}{2}\right)} 2\pi \cdot \text{sen}(\theta)d\theta$$

tem-se que:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{dN}{I \cdot n \cdot d\Omega} = \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \left(\frac{Zze^2}{2mv^2}\right)^2 \frac{1}{\text{sen}^4\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

Estabilidade do átomo proposto por Rutherford

- Este modelo proposto por Rutherford tinha um sério problema conceitual:
 - Como é possível um sistema físico composto de elétrons “orbitando” o núcleo ser estável?
 - Esse sistema deveria colapsar segundo as leis da física clássica...
- Como resolver isso?