Física Moderna I
Aula 09

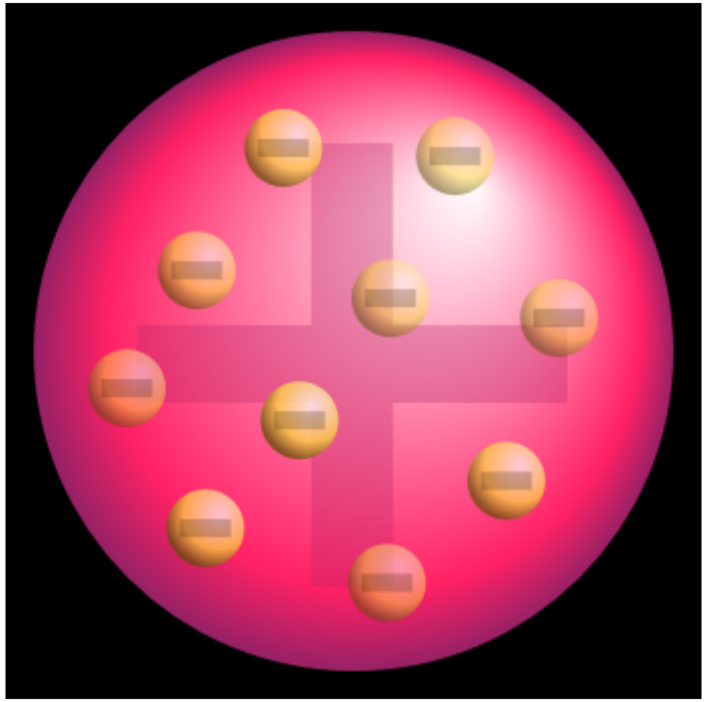
Marcelo G Munhoz

Pelletron, sala 245, ramal 6940

munhoz@if.usp.br

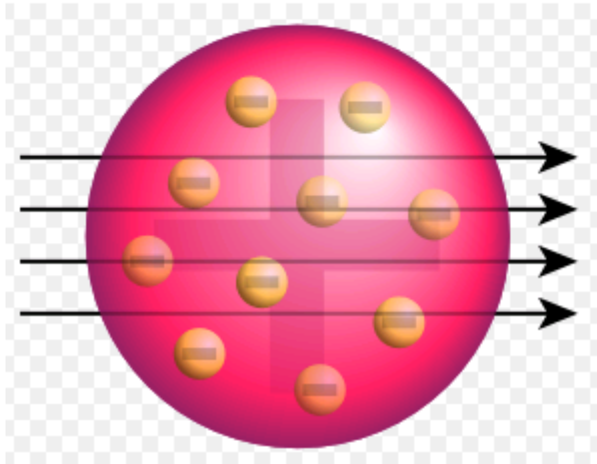
1904 - O Modelo Atômico de Thomson

- *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 << 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

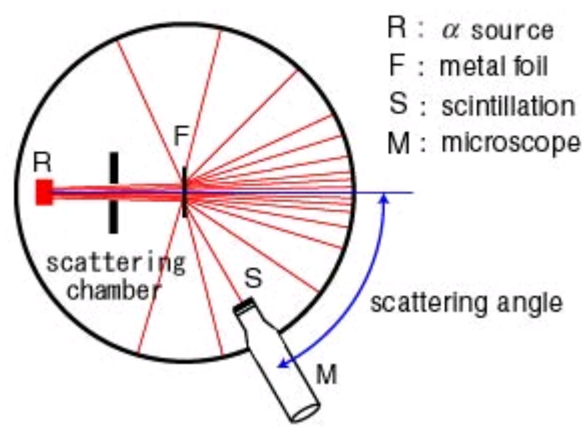
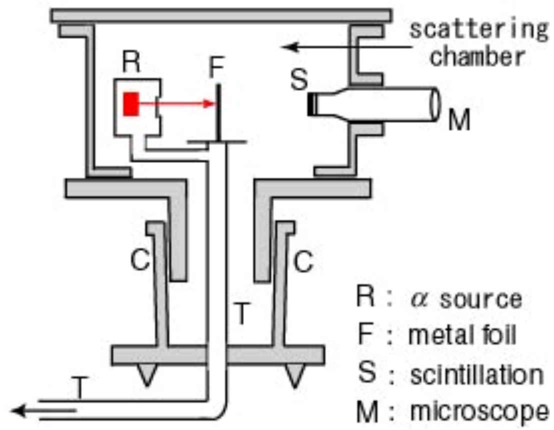


Fig. (E) Setting of the experiment

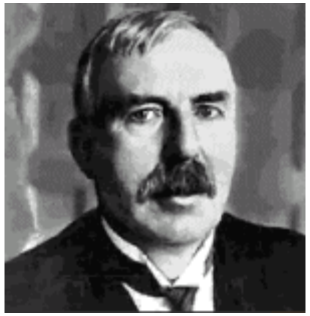


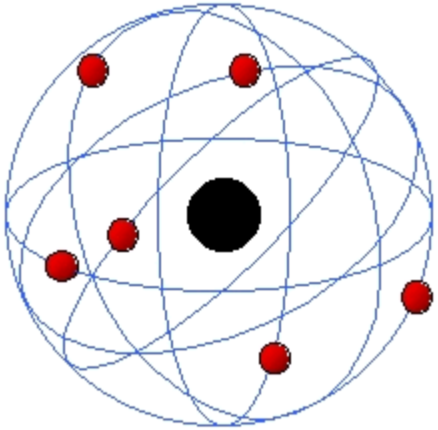
1911 - Rutheford propõem a existência do núcleo atômico

- 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 - Rutheford 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 életrons 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;



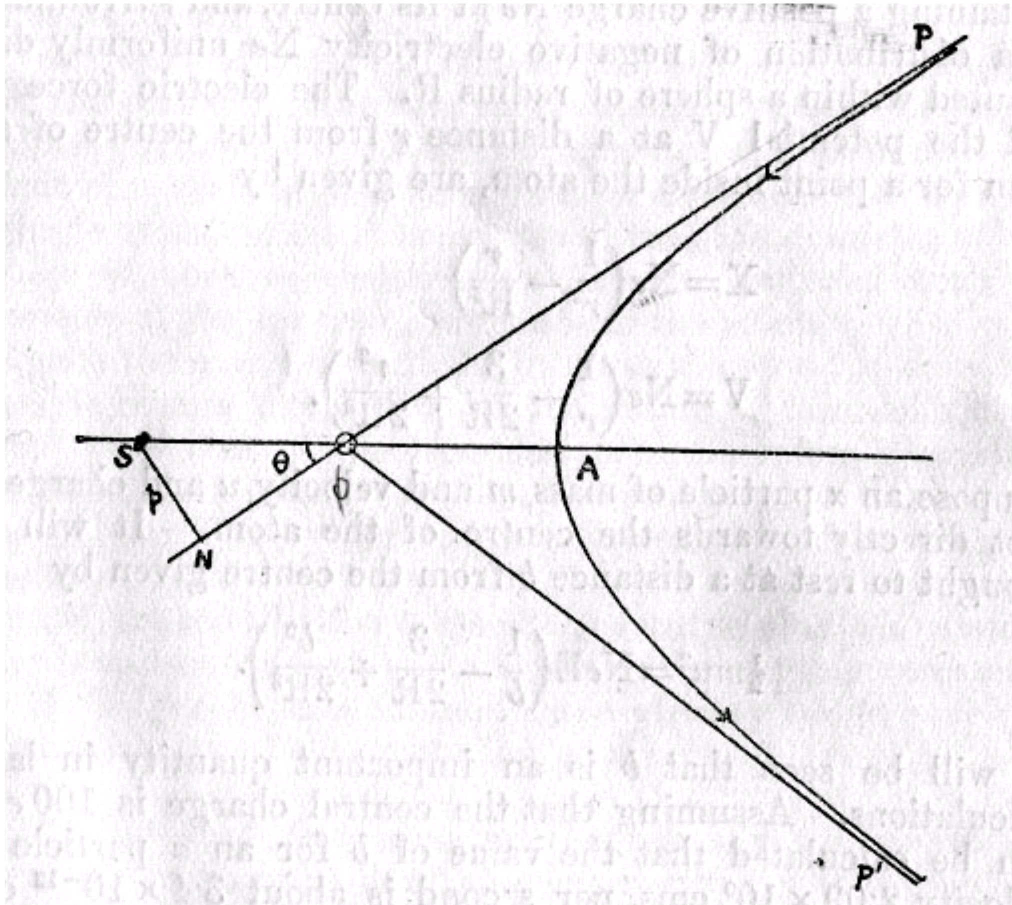


Rutherford (1911)

- **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)



Conservação de energia e momento

Table 1.1 The notation for quantities used in deriving Rutherford's formula for the differential scattering cross-section for the elastic scattering of one charged particle by a fixed charged target particle.

m	mass	Incident particle
v	velocity	
T	kinetic energy	
ze	electric charge	
Ze	charge of target nucleus (at O)	See Fig. 1.5.
b	impact parameter	
d	distance of closest approach (at D)	
u	velocity of incident particle at D	
θ	angle of scatter	
r, φ	polar coordinates with respect to OD of point (X) on the trajectory of particle.	
a	distance of closest approach for b=0.	See Fig. 1.6.

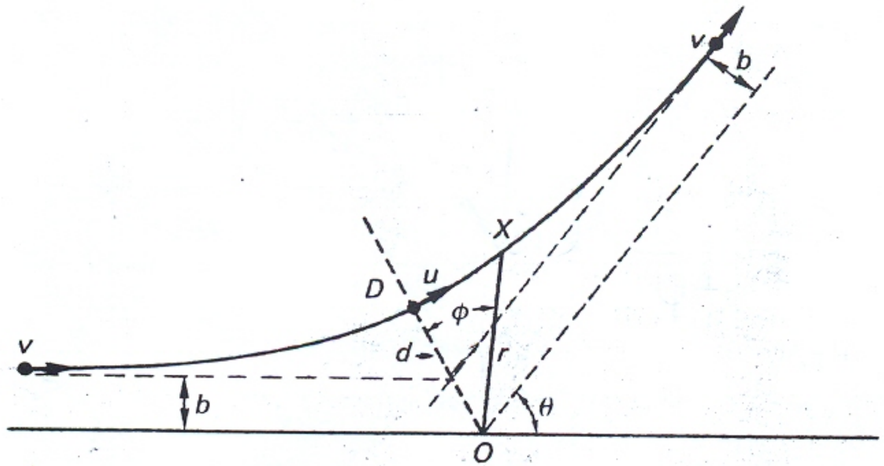


Fig. 1.5 The classical orbit of the incident particle in Rutherford scattering for non-zero impact parameter b.

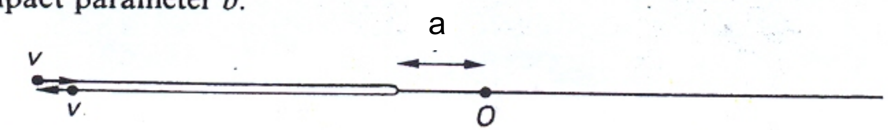
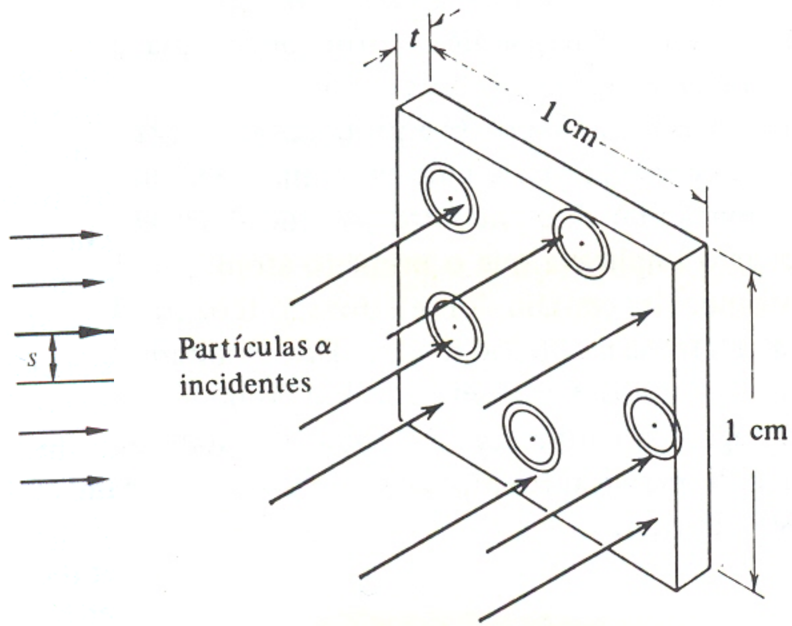


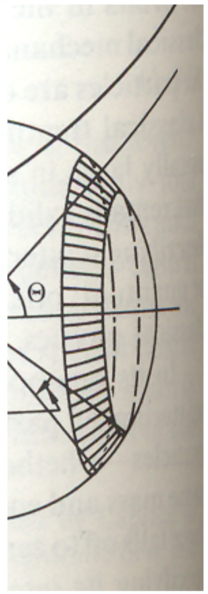
Fig. 1.6 The classical orbit in Rutherford scattering for zero impact parameter. Conservation of energy requires that the incident particle's distance of closest approach p, is given by

$$a = Zze^2/4\pi\varepsilon_0 T.$$

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 $5^o < \theta < 150^o$;
  - 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:

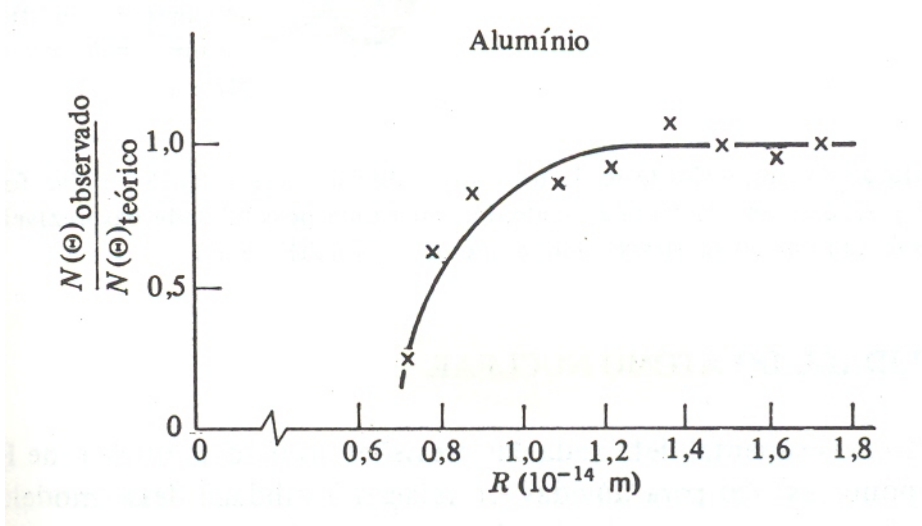
$$a = \frac{Zze^2}{4\pi\varepsilon_0\left(mv^2/2\right)}$$

- Ele obteve valores da ordem de 10^{-15} *m* (1*fm*) para partículas α com *p ~ 5 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:

$$a = \frac{Zze^2}{4\pi\varepsilon_0\left(mv^2/2\right)}$$



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:

$$dN = N(\theta)d\theta = \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2 \left(\frac{Zze^2}{2mv^2}\right)^2 \frac{I \cdot \rho \cdot t}{sen^4\left(\theta/2\right)} 2\pi \cdot sen(\theta)d\theta$$

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:

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

- 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:

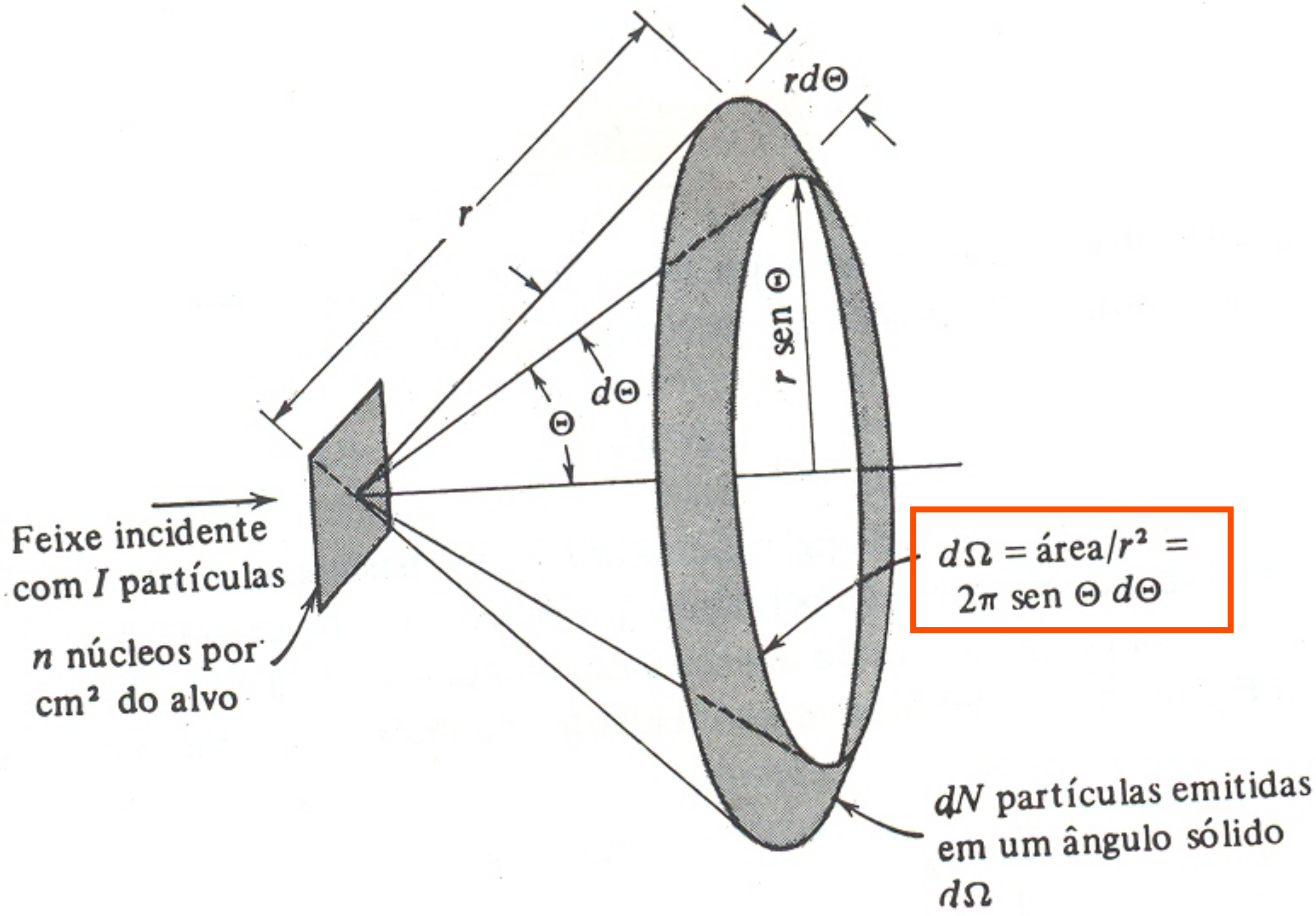
$$dN = \frac{d\sigma}{d\Omega} \cdot I \cdot n \cdot d\Omega$$

  – *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:

$$dN = N(\theta)d\theta = \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2 \left(\frac{Zze^2}{2mv^2}\right)^2 \frac{I \cdot \rho \cdot t}{sen^4\left(\theta/2\right)} 2\pi \cdot sen(\theta)d\theta$$

  tem-se que:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{dN}{I \cdot n \cdot d\Omega} = \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2 \left(\frac{Zze^2}{2mv^2}\right)^2 \frac{1}{sen^4\left(\theta/2\right)}$$

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?