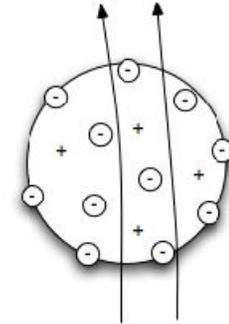


## IDEIAS ANTERIORES – MODELO de THOMSON 1899

Átomo composto por um grande nº de elétrons + alguma coisa com carga positiva p/balancear a carga negativa dos e's

Distribuição de cargas positivas – homogênea

$$\rho = e/(4/3\pi a^3)$$



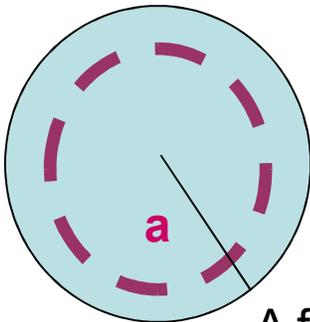
Superfície Gaussiana de raio  $r \rightarrow q_{int} = \rho V_{int}$   
 $q_{int} = e(r/a)^3$

$$\int E dS = 4\pi q_{int}$$

**Lei de Gaus: campo elétrico radial a uma distância  $r$  do centro é o mesmo daquele criado por uma partícula de carga  $q_{int}$  no centro da esfera**

$$E \cdot 4\pi r^2 = 4\pi e \left(\frac{r}{a}\right)^3$$

$$E = \frac{e}{a^3} r$$



A força que atua sobre o elétron, a uma distância  $r$ , é uma força do tipo elástica:  $F = -e^2/a^3 r$  caracteriza-se pela periodicidade

$$d^2r/dt^2 + (e^2/ma^3) r = 0 \quad r = r_0 \cos(\omega t) + v_0/\omega \sin(\omega t)$$

$$\omega = (e^2/ma^3)^{1/2} \quad v = v_0 \cos(\omega t) - \omega r_0 \sin(\omega t)$$

Independentemente das condições iniciais a partícula executa um movimento plano periódico de frequência  $\nu = \omega/2\pi = 1/2\pi (e^2/ma^3)^{1/2}$

➡ Segundo o modelo esta deveria ser a frequência de radiação emitida por um átomo de um elétron

## Comentários:

Apesar de estimar a ordem de grandeza das frequências da emissão da luz por um átomo, o modelo de Thomson previa a perda de energia por radiação, o que levaria o sistema a um colapso

O ÁTOMO DE THOMSON SERIA INSTÁVEL!

A perda de energia média =

**PROVAR**

$$\langle dE/dt \rangle = -2/3 e^2/c^3 w^2/2 (w^2 r_0^2 + v_0^2)$$

$$\langle dE/dt \rangle = -2/3 e^2 w^2/mc^3 \langle E \rangle = -\langle E \rangle/\tau$$

Energia média por ciclo decairia exponencialmente

$$\langle E \rangle = E_0 e^{-t/\tau}$$

$\tau$  **vida média do átomo**

$$\tau = 3mc^3/(2e^2w^2) \approx 10^{-8}s \text{ colapso elíptico}$$

## Rutherford scattering with radiation damping

C. E. Aguiar and F. A. Baronea

*Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 21941-972, Rio de Janeiro, Brazil* Received 6 August 2008; accepted 15

December 2008

We study the effect of radiation damping on the classical scattering of charged particles. By using a perturbation method based on the Runge–Lenz vector, we calculate radiative corrections to the Rutherford cross section and deflection function. Energy and angular momentum losses are obtained by the same method. © 2009 American Association of Physics Teachers.

DOI: 10.1119/1.3065026

# Física Moderna

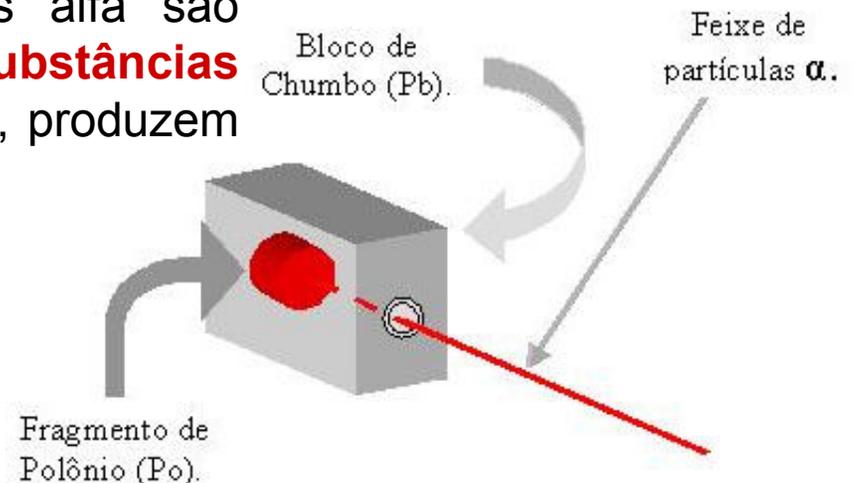
## EXPERIMENTO DE RUTHERFORD

### 1911 - Lord Rutherford

Utilizou o polônio como fonte de partículas alfa. Esse elemento radioativo emite contínua e espontaneamente partículas alfa de seus átomos. Na época, já se sabia que essas partículas eram dotadas de carga elétrica positiva, com **massa 4 x 1.836 vezes maior que a dos elétrons**, e eram emitidas com **velocidade aprox. 20.000 Km/s**.

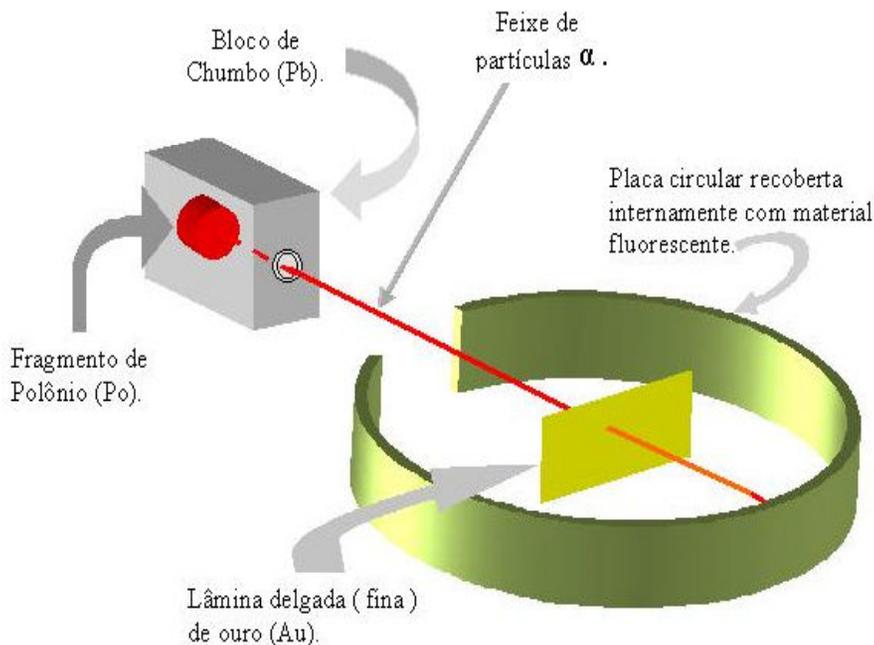
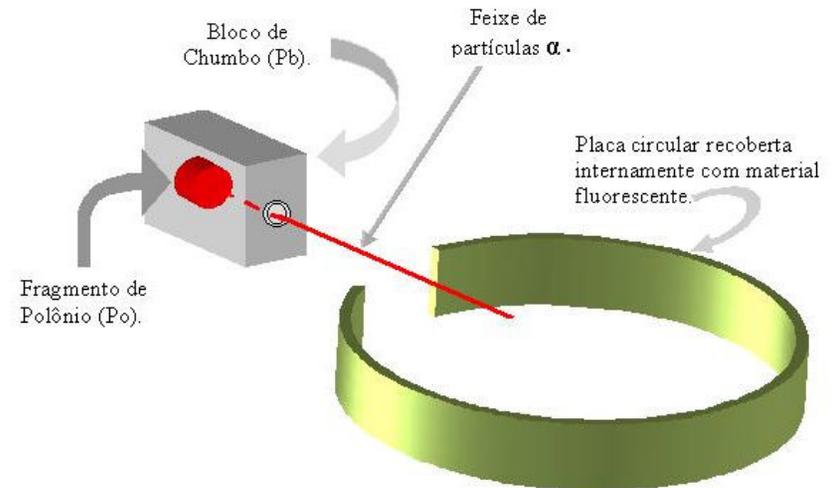
Um fragmento de polônio funcionava como uma disparador de partículas alfa. As partículas alfa são invisíveis, porém, ao colidir em **substâncias fluorescentes**, como o sulfeto de zinco (ZnS), produzem cintilações que podem ser detectadas.

Alfa= $\alpha$  He <sup>2+</sup>  
núcleos de He  
(2p+2n)

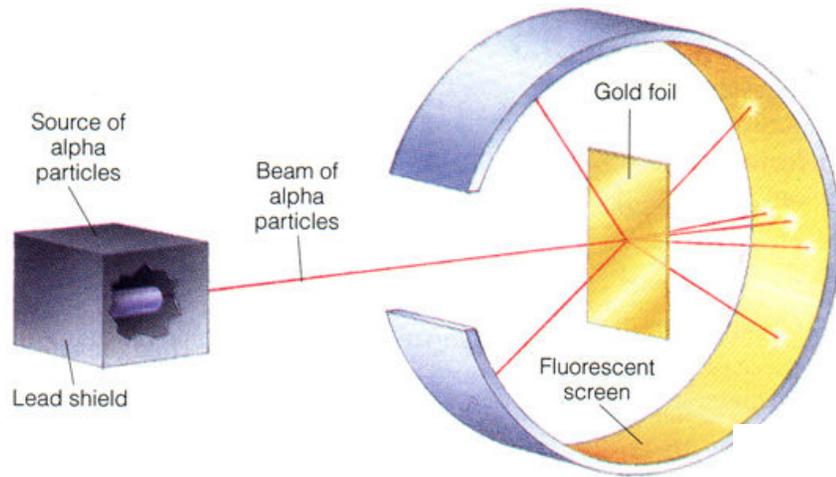


Um fragmento de polônio é colocado no interior de um bloco de chumbo com um orifício através do qual sai um feixe de partículas alfa provenientes do polônio.

Diante do feixe de partículas alfa é colocada uma chapa recoberta internamente com material fluorescente (ZnS), para que nela se registrem as cintilações provocadas pela colisão das partículas alfa



Coloca-se uma placa fina de Au interceptando o feixe de partículas alfa. Rutherford notou que a **grande maioria** das partículas alfa atravessava livremente a lâmina, como se nada existisse em seu caminho, e continuava produzindo cintilações numa região da chapa fluorescente, o que indicava que as partículas  $\alpha$  se propagavam na mesma direção, sem sofrer nenhum desvio. Ocasionalmente, porém, algumas partículas  $\alpha$  eram desviadas de sua trajetória, ao atravessar a lâmina, e iam produzir cintilações em pontos afastados da região de incidência da grande maioria das partículas alfa.

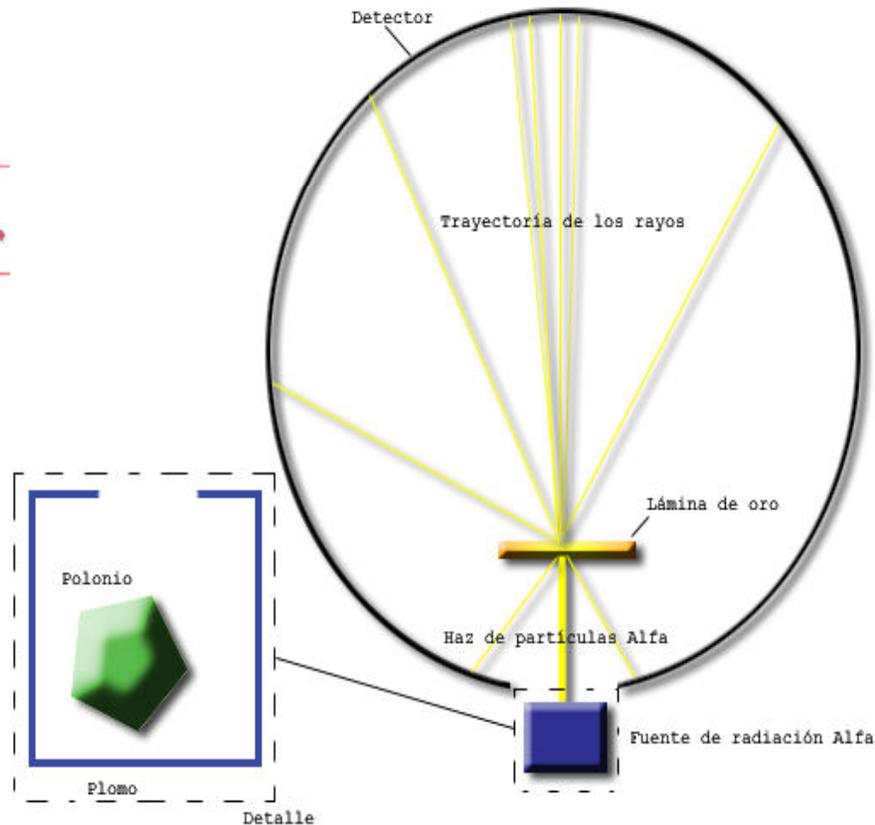
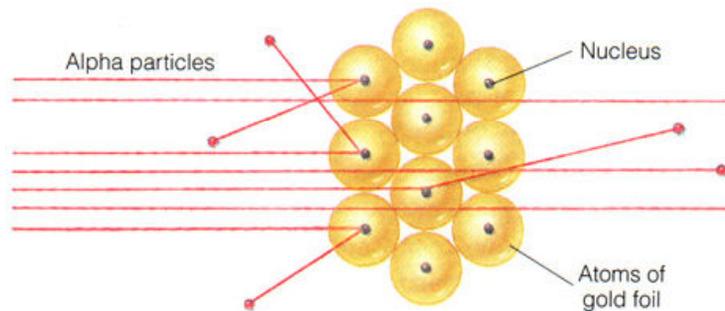


## HIPÓTESES:

➔ Um espalhamento com grande ângulo é produzido por uma única colisão nuclear

➔ A força repulsiva entre a partícula alfa e o núcleo, separados por uma distância é

$$F = k(2e)(Ze)/r^2$$



**Muito raramente, alguns  $\alpha$  eram refletidas ao incidir sobre a lâmina de Au**

Para **justificar a passagem das partículas  $\alpha$  através da lâmina** de ouro como se nada existisse em sua trajetória, Rutherford admite que a massa dos átomos constituintes da lâmina deveria estar concentrada em **pequenos núcleos**.

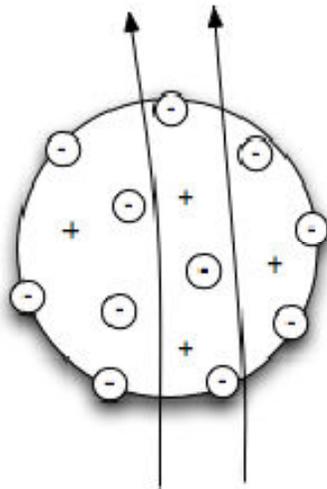
Para **explicar o desvio de algumas partículas**, Rutherford admite que esses núcleos teriam **carga +**; como as partículas alfa são +, as que passam muito próximo dos núcleos dos átomos da lâmina sofrem um desvio em sua trajetória, pelo fato das cargas das partículas alfa e do núcleo do átomo de Au serem positivas.

As partículas alfa que colidiam frontalmente com o núcleo eram refletidas. Como o tamanho do núcleo é muito pequeno em relação ao tamanho do átomo, a probabilidade de uma partícula alfa passar próximo ao núcleo ou colidir frontalmente com ele é muito pequena. Por isso, a grande maioria das partículas alfa atravessava a lâmina de ouro sem sofrer desvio em sua trajetória.

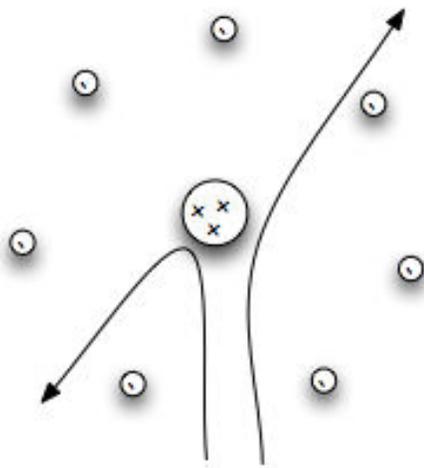
Como a  $m_{\alpha} \gg m_e$ , ela não poderia sofrer desvios na colisão com ele.

Rutherford conclui que: **átomo é formado por um núcleo muito pequeno em relação ao átomo, com carga positiva, no qual se concentra praticamente toda a massa do átomo. Ao redor do núcleo localizam-se os elétrons neutralizando a carga positiva.**

[http://www.youtube.com/watch?v=5pZj0u\\_XMbc](http://www.youtube.com/watch?v=5pZj0u_XMbc)



(a) Modelo do pudim de passas de Thompson com distribuição de carga



(b) Modelo de Rutherford p/ átomo

➔ variações das prob's de espalhamento com o ângulo, carga do núcleo, energia cinética das partículas

➔ muitos cálculos realizados na época foram confirmados em experiências por GEIGER e MASDEN

### CÁLCULOS PARA OBTENÇÃO DESTES RESULTADOS

O que era verificado experimentalmente?  
O nº dependia da espessura da placa, da velocidade do feixe e do ângulo de espalhamento.

Como os valores de  $Z$  não eram precisos naquela época, a dependência do espalhamento com  $Z$  não podia ser verificada c/ precisão (estimado a partir de ajustes com os dados experimentais)



## Ernest Rutherford The Nobel Prize in Chemistry 1908

$b$  = parâmetro de impacto

$\theta$  = ângulo de espalhamento

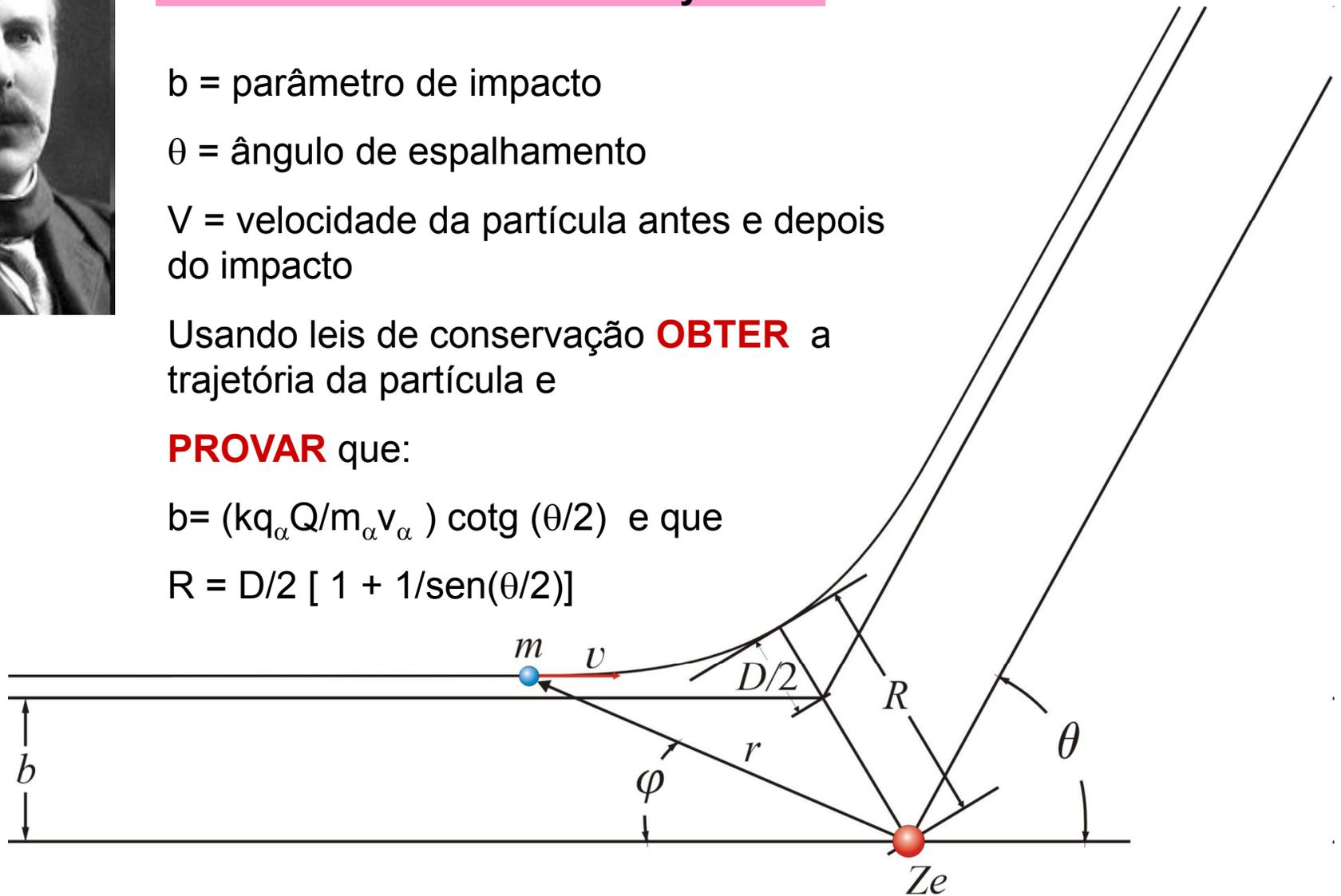
$V$  = velocidade da partícula antes e depois do impacto

Usando leis de conservação **OBTER** a trajetória da partícula e

**PROVAR** que:

$b = (kq_{\alpha}Q/m_{\alpha}v_{\alpha}) \cotg(\theta/2)$  e que

$R = D/2 [1 + 1/\text{sen}(\theta/2)]$



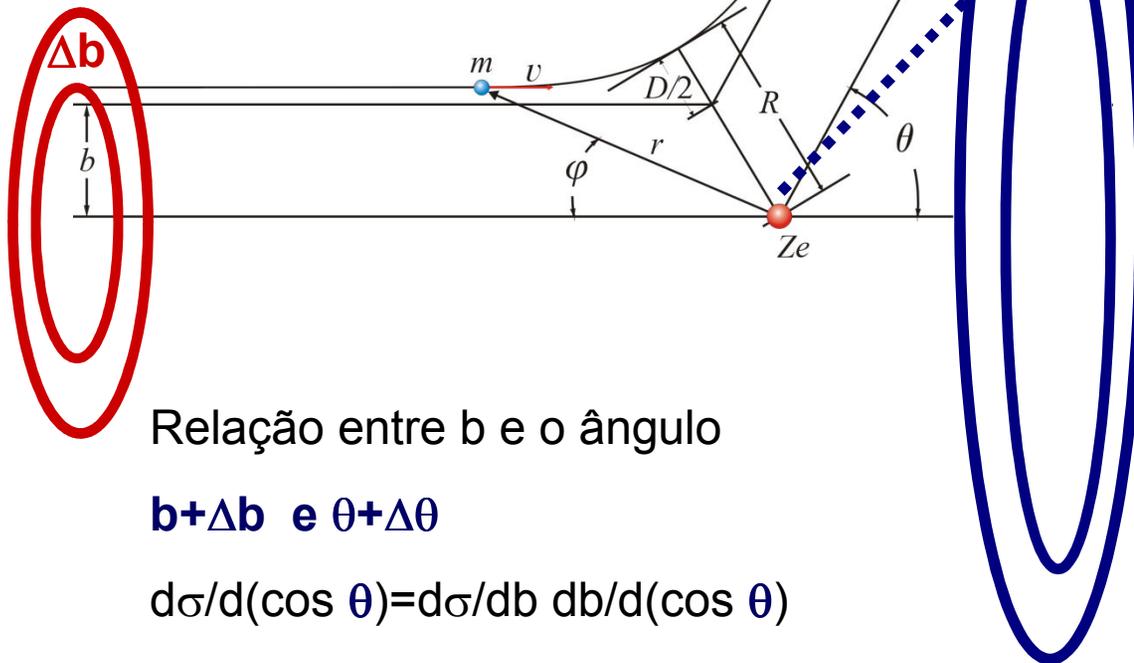
$$D = Zq_{\alpha}e^2k/(1/2mv^2)$$

$d\sigma$  = seção de choque

Diferencial da seção de choque  $d\sigma$

$$d\sigma = 2\pi b db \quad d\sigma/db = 2\pi b$$

$$\sigma = 2\pi \int b db = \pi R^2 \text{ para um esfera rígida}$$



Relação entre  $b$  e o ângulo

$$b + \Delta b \quad \text{e} \quad \theta + \Delta \theta$$

$$d\sigma/d(\cos \theta) = d\sigma/db \quad db/d(\cos \theta)$$

$$= 2\pi b \quad db/d(\cos \theta)$$

Quer se encontrar esta dependência  $p$ / determinar a distribuição angular das partículas alfas espalhadas

$p_1, p_2$  = momentum de alfa antes e depois do espalhamento

$$(\Delta p)^2 = (p_2 - p_1)^2 = p_2^2 + p_1^2 - 2p_1 p_2 \cos \theta$$

Apenas a direção do  $p$  muda  
( $m_{nu} \gg m_{al}$ )

$$p = m_{\alpha} v_{\alpha}$$

$$(\Delta p)^2 = 2p^2(1 - \cos \theta)$$

Conservação do Momentum angular: ( $v_t = r d\phi/dt$ )

$$L = m_{\alpha} v b = m_{\alpha} r^2 d\phi/dt = (kq_1 q_2 / m v^2) \cdot [(1 + \cos \theta) / (1 - \cos \theta)]^{1/2}$$

Ver detalhes na pagina 173-175 Rohlif

Seção 4.2 Eisberg QM

Resultado Importante: O número de partículas que entram no detector por unidade de tempo, sob o ângulo  $\Phi$  é dado por:

$$\Delta N = (k^2 Z^2 e^4 N n A) / (4 R^2 E_\alpha \sin^4(\theta / 2))$$

onde **N** = nº de núcleos /unidade de área da placa (prop. a espessura)  
**n** = nº total de partículas incidentes sobre o alvo/unidade de tempo  
**A** = área do detector      **E<sub>α</sub>** = 1/2 mαv<sub>α</sub><sup>2</sup> energia cinética

**PROVAR** a expressão para  $\Delta N$  (ver seção 4.2 Eisberg - Rutherford Model)

Lembrar que:

**I<sub>o</sub>** = intensidade do feixe de part.= nº de part. por segundo, por unidade de área

nº de part. espalhadas por segundo será **N = I<sub>o</sub> πb<sup>2</sup>**      **πb<sup>2</sup> = seção de choque**

Estes resultados foram importantes para que BOHR pudesse usar estas idéias em seu modelo!

Existência do nucleio!

MODELO DE BOHR