

Instituto de Física USP

Física Moderna I Aula 15

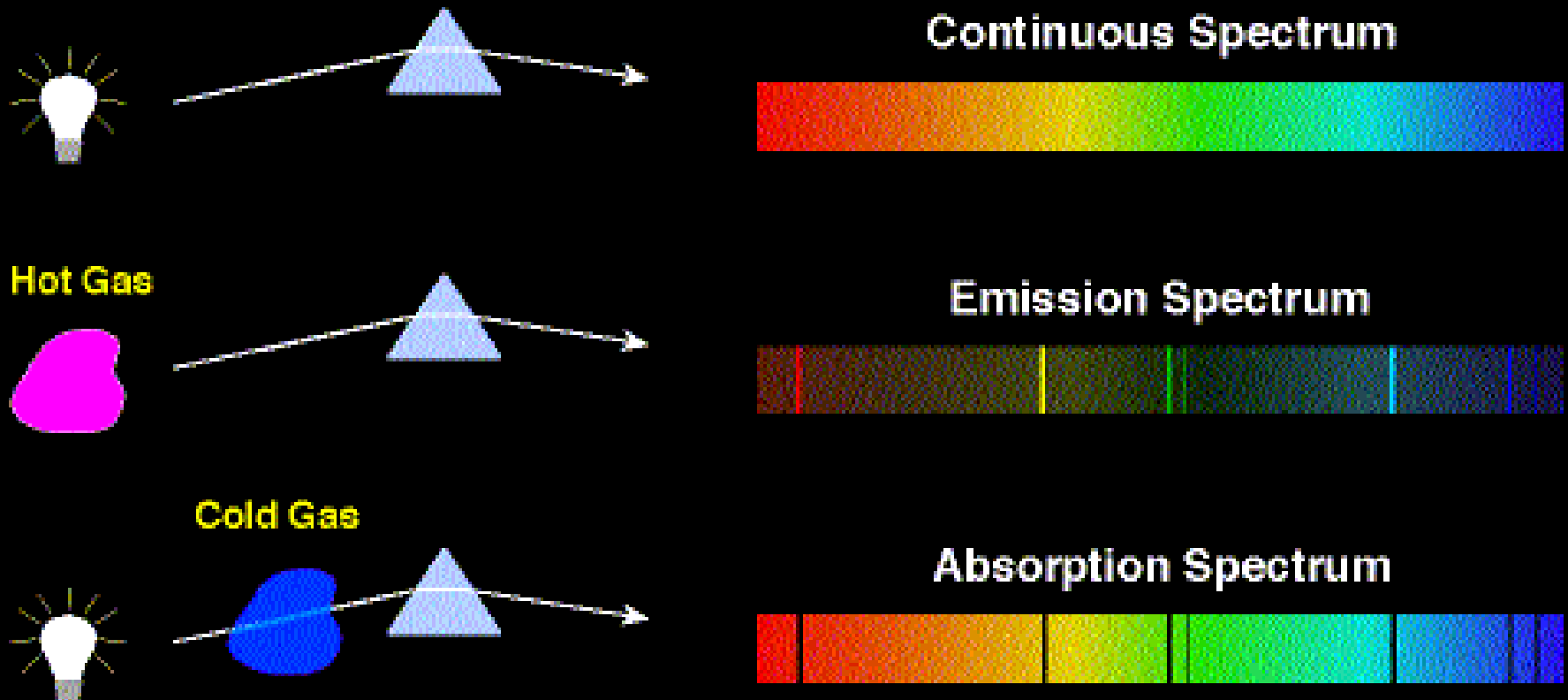
Professora: Mazé Bechara

Aula 15– Espectros de linhas e o Modelo atômico de Thomson.

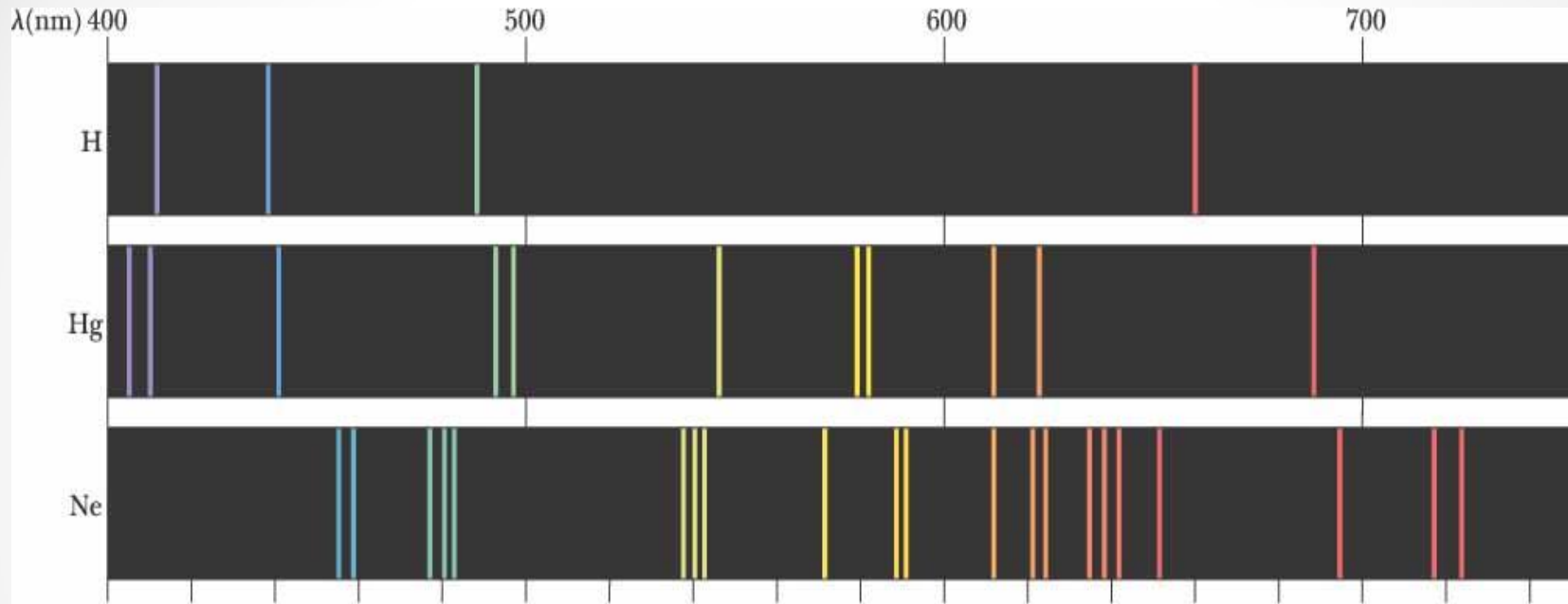
O experimento de Rutherford - 1911

1. Características dos espectros da absorção e da emissão de vários elementos . Os espectros de emissão e absorção do hidrogênio – as “séries” das linhas espectrais.
2. O Modelo atômico (simplificado) de Thomson – primeira tentativa de descrever as **interações atômicas como eletromagnética atrativa entre seus constituintes**. Os estados fundamentais (que nada emitem) e os estados (excitados) que emitem REM para o átomo de H.
3. **O experimento de Geiger, Marsden e Rutherford** de espalhamento elástico de partículas alfa por folhas de ouro e outros elementos, e seus resultados experimentais conflitantes com o modelo atômico de Thomson. A proposta de Rutherford para a interação com tais resultados – discussão qualitativa.
4. **Conceitos e definições:** espalhamento elástico de um feixe de partículas por um “alvo” espalhador; ângulo de espalhamento, parâmetro de impacto no espalhamento; relação entre o parâmetro de impacto e o ângulo de espalhamento. **O conceito e uma expressão da seção de choque diferencial para qualquer força de interação.**

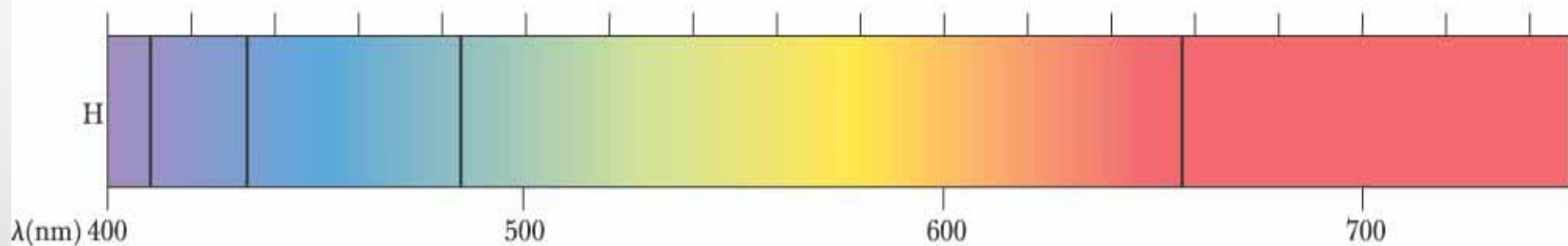
No visível: um espectro contínuo, um espectro de emissão e um de absorção por átomos de um elemento gasoso.



Parte visível (com olhos humanos) dos espectros de emissão de REM dos átomos de H, Hg e Ne. Espectro de absorção do H

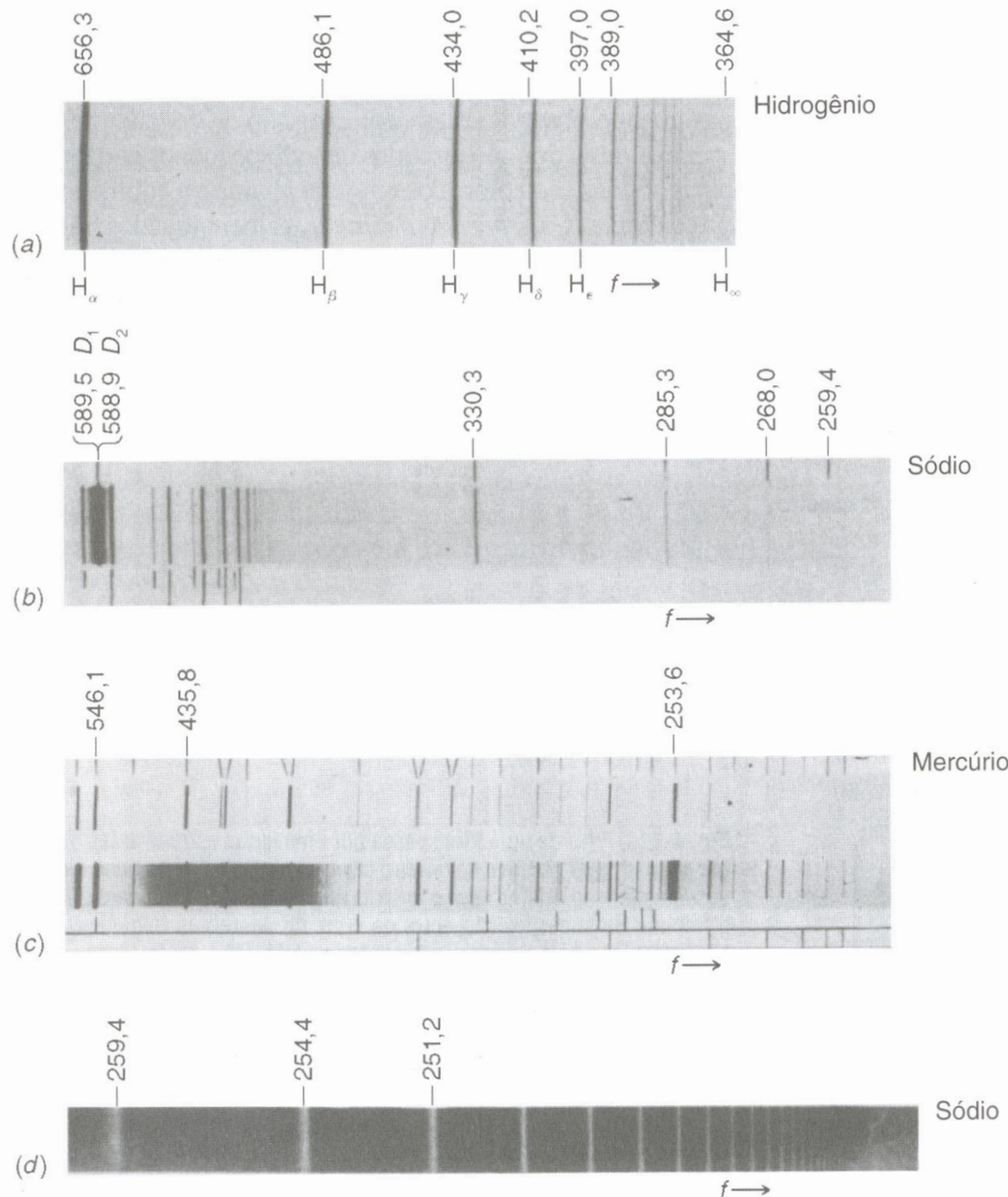


(a)



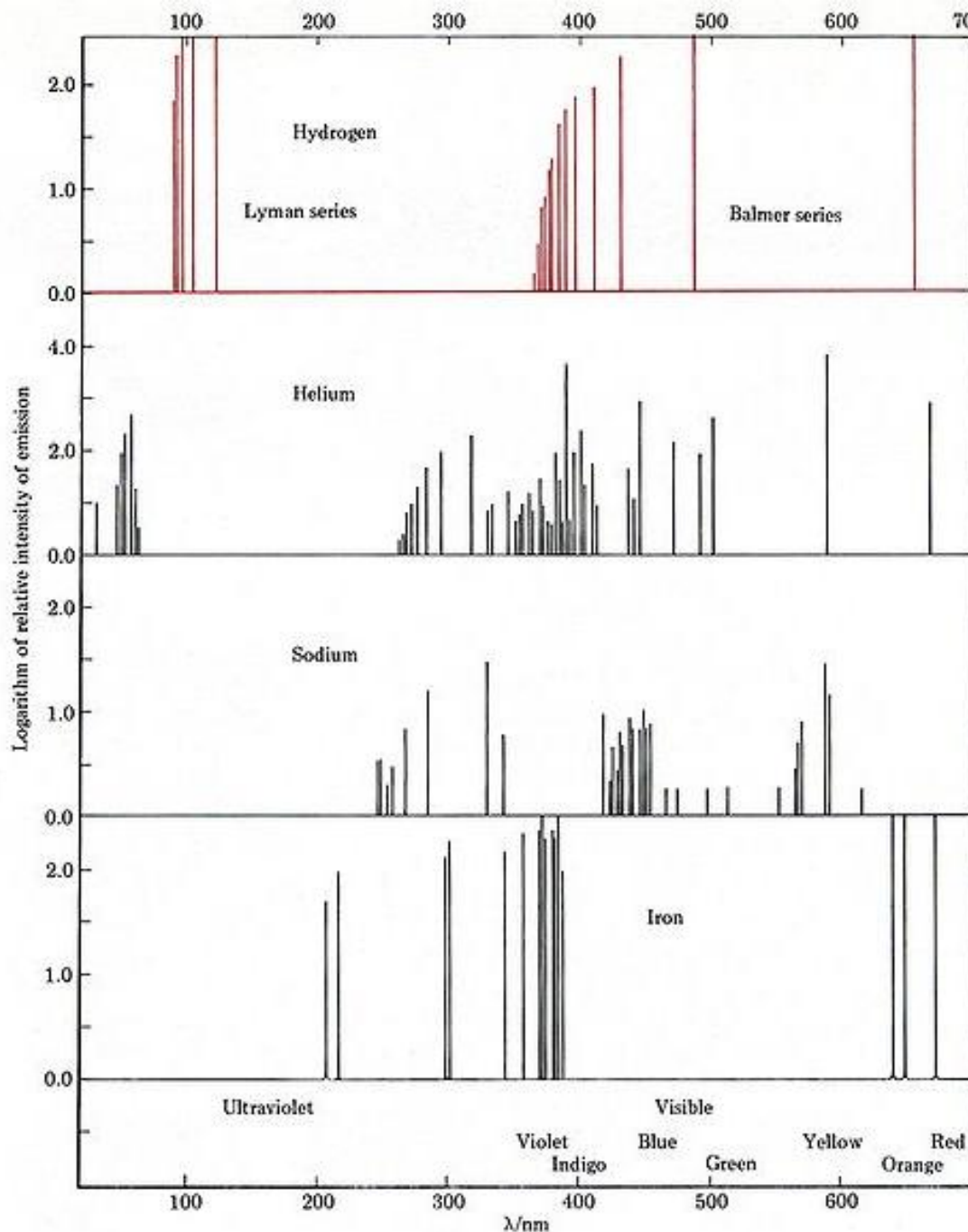
(b)

Outros espectros de emissão de gases de elementos puros



O Na é alcalino como o H. A linha amarela que ele emite é usada em lâmpadas. Seu espectro é relativamente simples comparado aos de outros elementos de massa próximas, não alcalinos.

Figura do Tipler & Llewellyn



Gráficos das intensidades versus comprimento de onda da radiação emitida. As “linhas” têm intensidades diferentes, que não se quantificam, ou mesmo não são percebidas nas imagens “fotográficas” das linhas.

Espectros de absorção e emissão atômica

A interpretação dos físicos do Planeta Terra é que, no estado natural, os átomos estáveis, ou seja, que não viram outro elemento espontaneamente, estão em seu estado de menor energia, chamado de estado fundamental. Por isto átomos no seu estado fundamental não emitem o espectro de linhas.

Os espectros dos átomos mais leves mostram espectros de linhas mais simples do que os átomos mais pesados.

Em particular as frequências dos espectros de linhas do átomo de hidrogênio seguem uma relação matemática típica de série.

Evidências experimentais da estrutura atômica

Os átomos com as mesmas propriedades físico/químicas têm similaridades em seus espectros de emissão/absorção atômica, indicando relação entre estrutura atômica e propriedades físico-químicas.

Em particular, os outros elementos da primeira coluna da tabela periódica além do hidrogênio (H): o lítio (Li), sódio (Na), potássio (K) chamados de alcalinos têm espectros “similares” ao mais simples espectro que é o do Hidrogênio. São chamados de “átomos de um elétron”.

As várias séries de emissão do H. A visível (aos olhos humanos) foi a primeira observada. É a série de Balmer.



$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right) \quad n' = 1, 2, 3, \dots > n$$

$n=1$ – série de Lyman

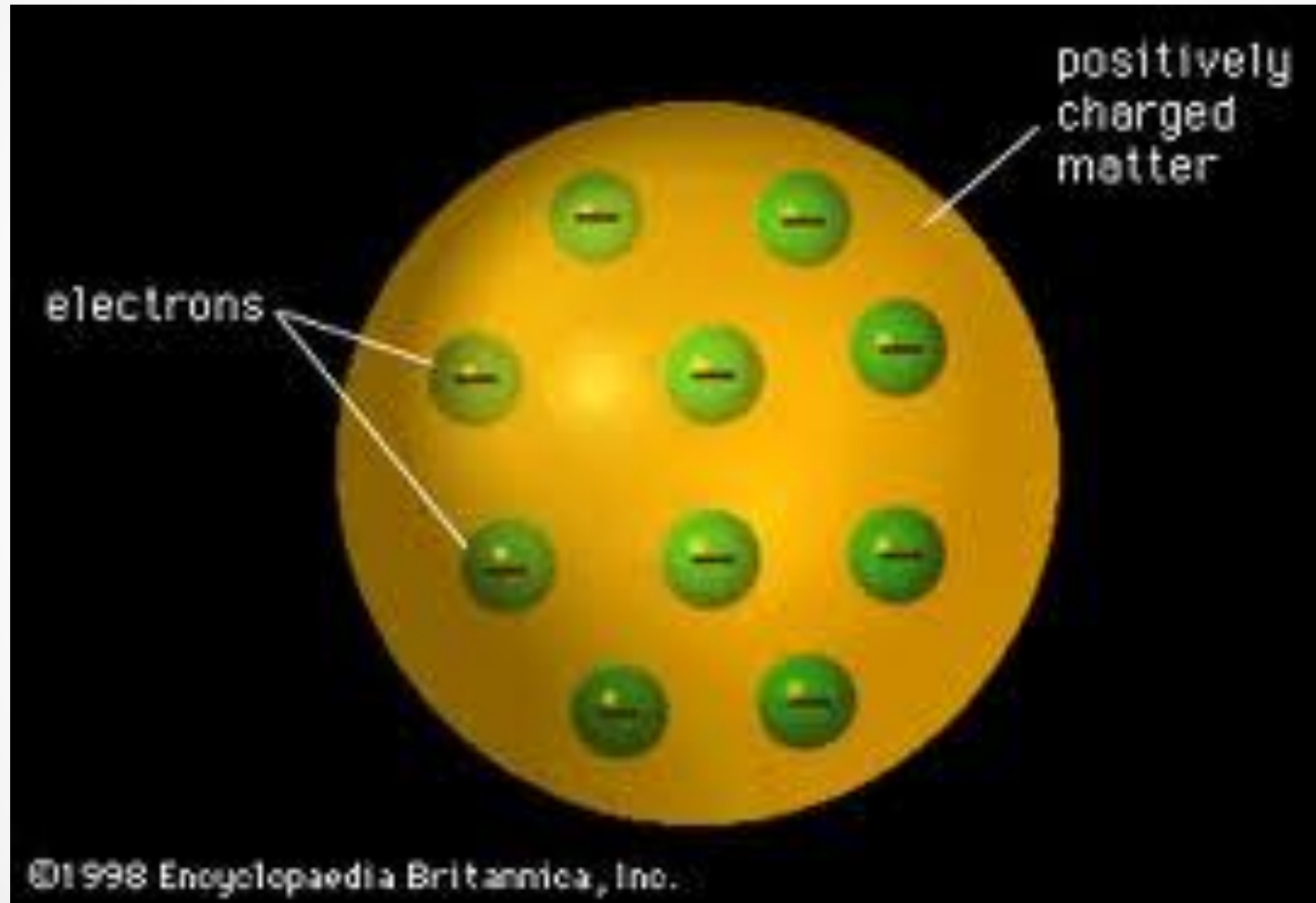
$n=2$ – série de Balmer (pioneira - visível)

$n=3$ – série de Paschen

$n=4$ – série de Pfund

R_H = constante de Rydberg (para o hidrogênio) = $1,096776 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

Modelo de Thomson para o átomo



Elementos – fatos experimentais

1. O átomo mais leve é o de Hidrogênio que tem massa de 1,008665 uam (unidade atômica de massa). 1uam= $1.660538921(73)\times 10^{-27}$. O Carbono 12 é definido como 12 uam.
2. O elemento estável mais pesado da natureza é o Plutônio 244, com meia vida de $\sim 10.000.000$ anos.
3. Os raios dos átomos não mudam muito. Hoje se sabe (mede-se) que o raio do H é de aproximadamente 0,5 angstrons, e o do plutonio da ordem de 3,5 angstrons.

O modelo de Thomson- a interação atômica e a interpretação dos estados atômicos.

1. **Hipótese 1:** Os átomos têm a maior parte de sua massa fluida com carga positiva distribuída uniformemente na esfera de raio atômico R com elétrons distribuídos neste fluido . **A força atômica, ou seja, que mantém a estrutura atômica, não é nova força da Natureza - é de natureza eletromagnética.**
2. **Hipótese 2:** No estado de mais baixa energia, ou estado fundamental, não há emissão atômica e os elétrons estão distribuídos de forma a que **cada um deles tenha força total nula** de sua interação eletrostática atrativa com a carga positiva e repulsiva com os demais elétrons, **e portanto esteja parado.**
3. **Hipótese 3:** Quando um ou mais elétrons dos átomos recebem energia podem sair de suas posições de equilíbrio **executando movimentos harmônicos com certas frequências. São os estados excitados.**
4. **Hipótese 4.** Os **estados excitados são instáveis** porque necessariamente **emitem REM** com mesma frequência que oscilam, voltando para a posição de equilíbrio. Os responsáveis pelas linhas de emissão dos átomos são os estados excitados.

As posições dos elétrons nos estados fundamentais do átomo de hidrogênio (H) e no de hélio (He). Um estado excitado do H.

1. Discussão e cálculos em sala de aula.

Geiger (à direita) e Ruthrford (à esquerda) no Laboratório de Manchester



Equipamento do experimento de Rutherford 1911

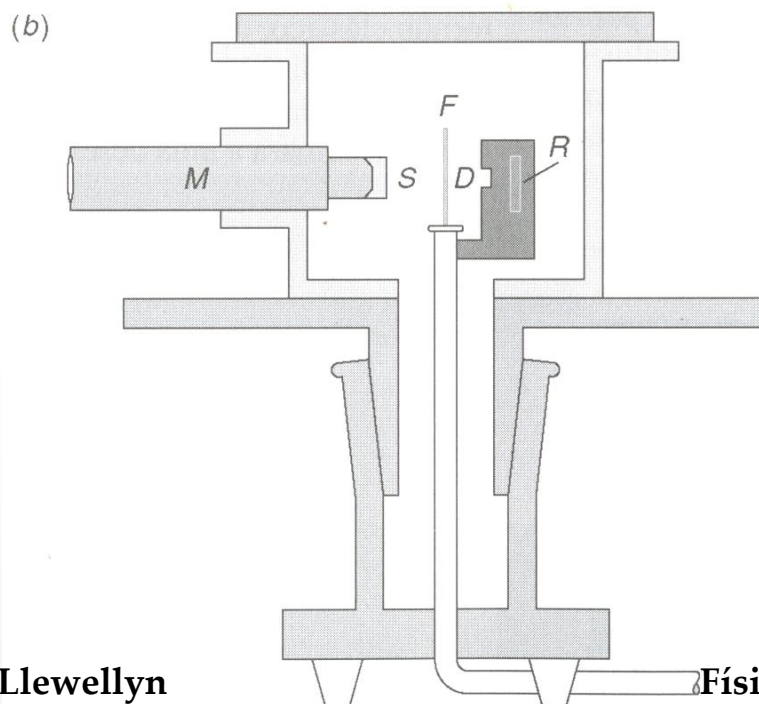
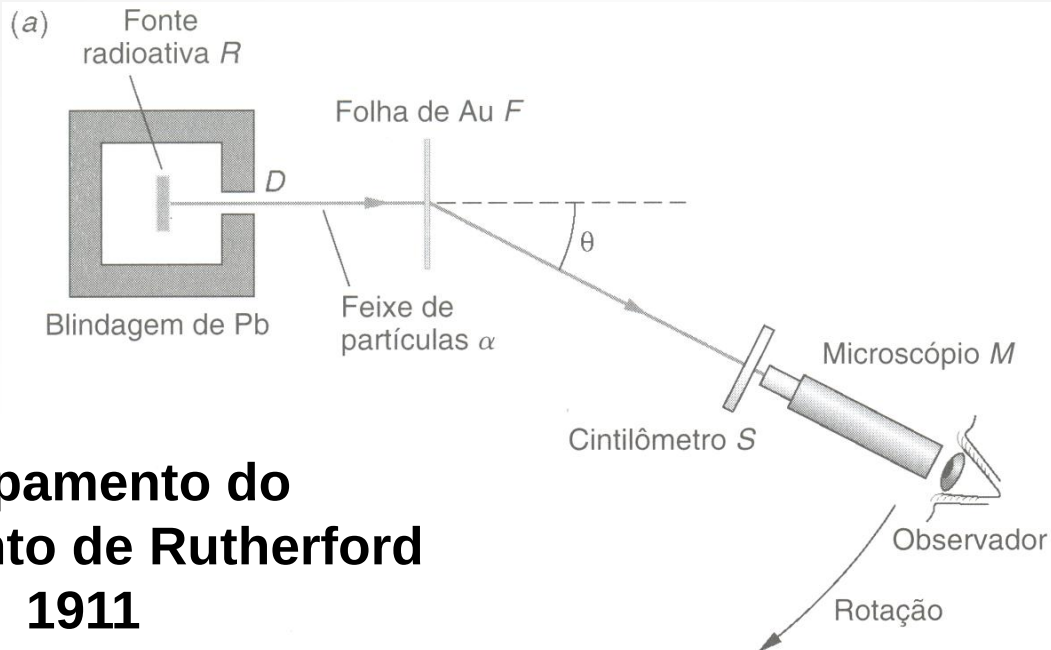
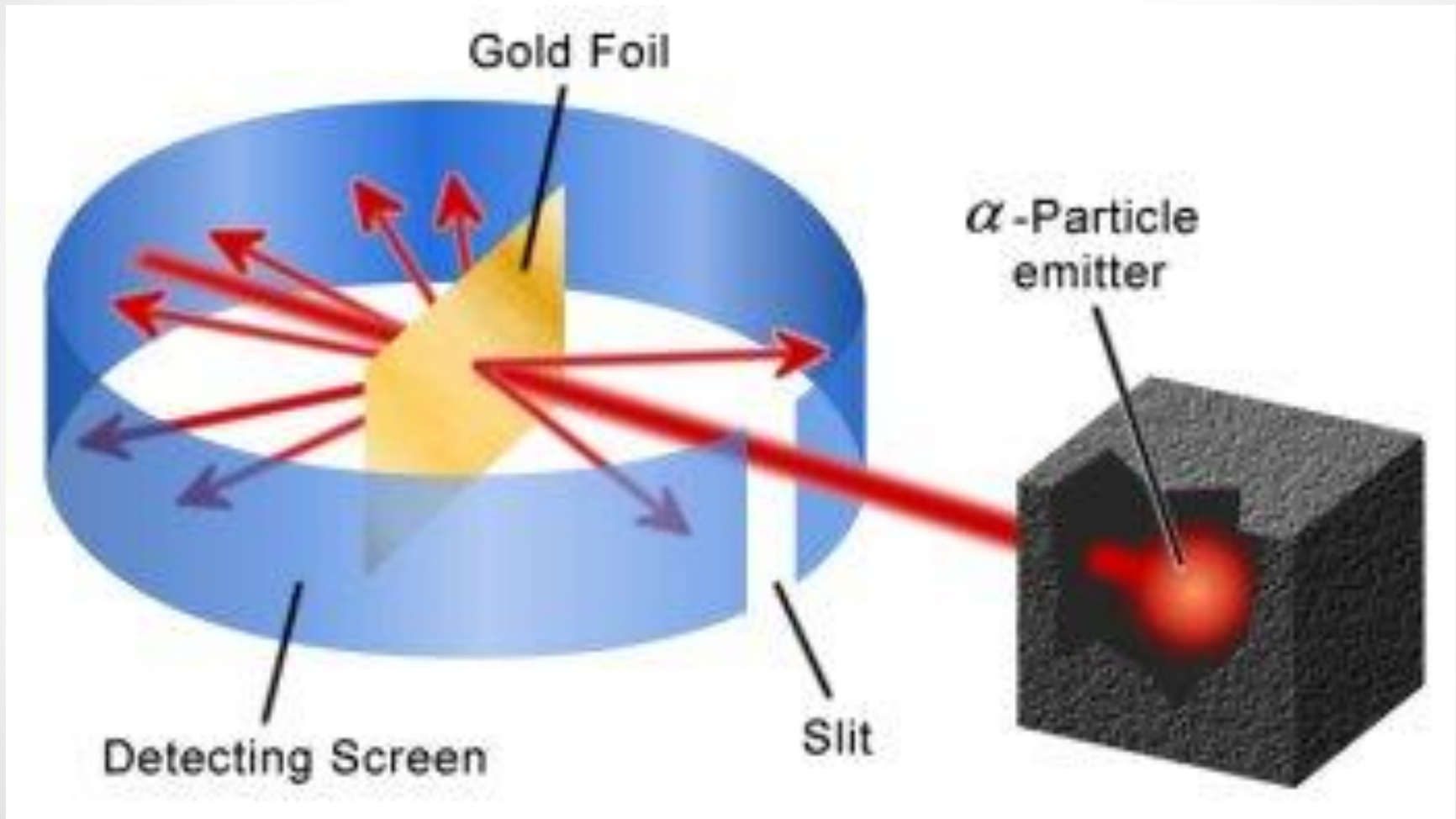
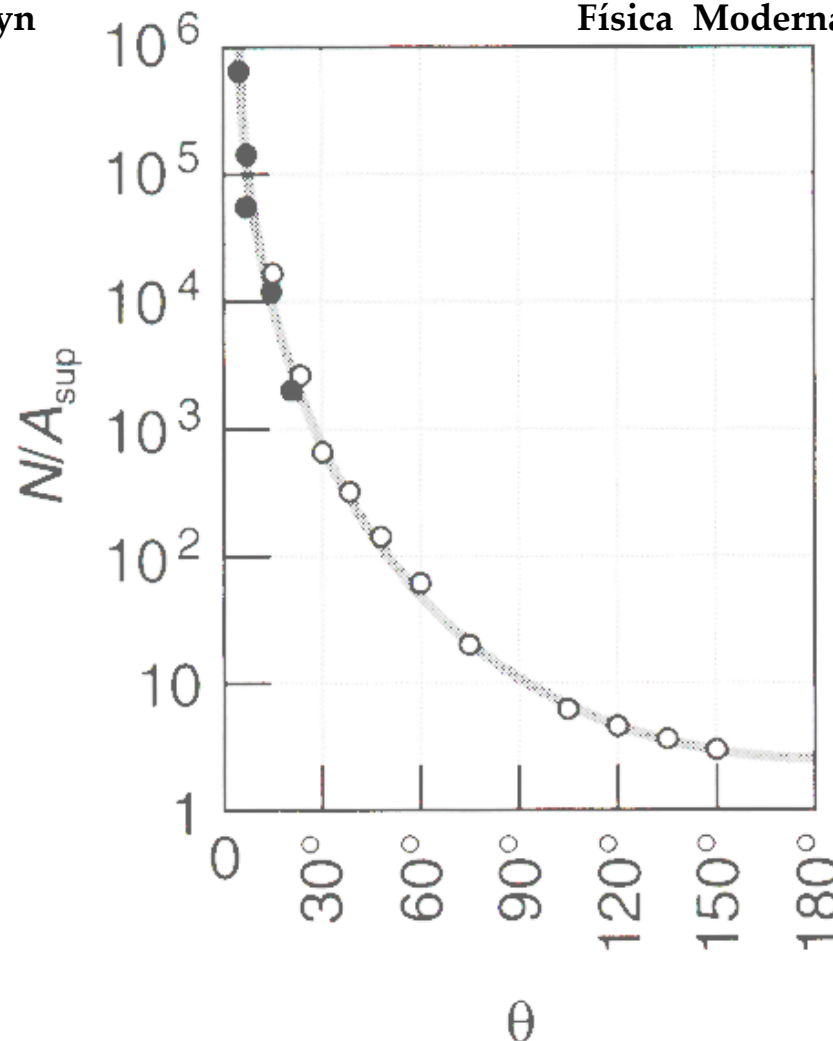


Figura esquemática do experimento de Rutherford – 1911 (cem anos atrás!)



O experimento de Geiger e Marsden (1908) no Laboratório dirigido por Rutherford

1. *Feixe de partículas alfa ($Z=2$, $m=4m_H$) com energia cinética E_{inc} incide sobre uma folha fina de algum material (alvo). Partículas alfa são espalhadas e contadas em um detector colocado em um ângulo θ (ângulo de espalhamento) com a direção do feixe incidente. De fato, pelas dimensões finitas de qualquer detector elas são observadas em torno de θ dentro de uma abertura $d\theta$.*
2. *Condições experimentais para os resultados relatados: folha fina com os “alvos”, feixe bem colimado, e detector colocado a uma distância do alvo que permita desprezar o tamanho do feixe no cálculo do ângulo sólido de espalhamento.*



RESULTADOS DO EXPERIMENTO PIONEIRO.

Os pontos, cheios e vazios, são resultados experimentais para folhas finas de dois elementos diferentes.

Fig. 4-11 Número de partículas α espalhadas por unidade de área em função do ângulo de espalhamento θ . A curva é proporcional à função $\text{sen}^{-4}(\theta/2)$; os pontos experimentais foram obtidos por Geiger e Marsden usando partículas α de 7,7 MeV. [Fonte: R. D. Evans, *The Atomic Nucleus*, McGraw-Hill, New York, 1955.]

Figura do Tipler & Llewellyn

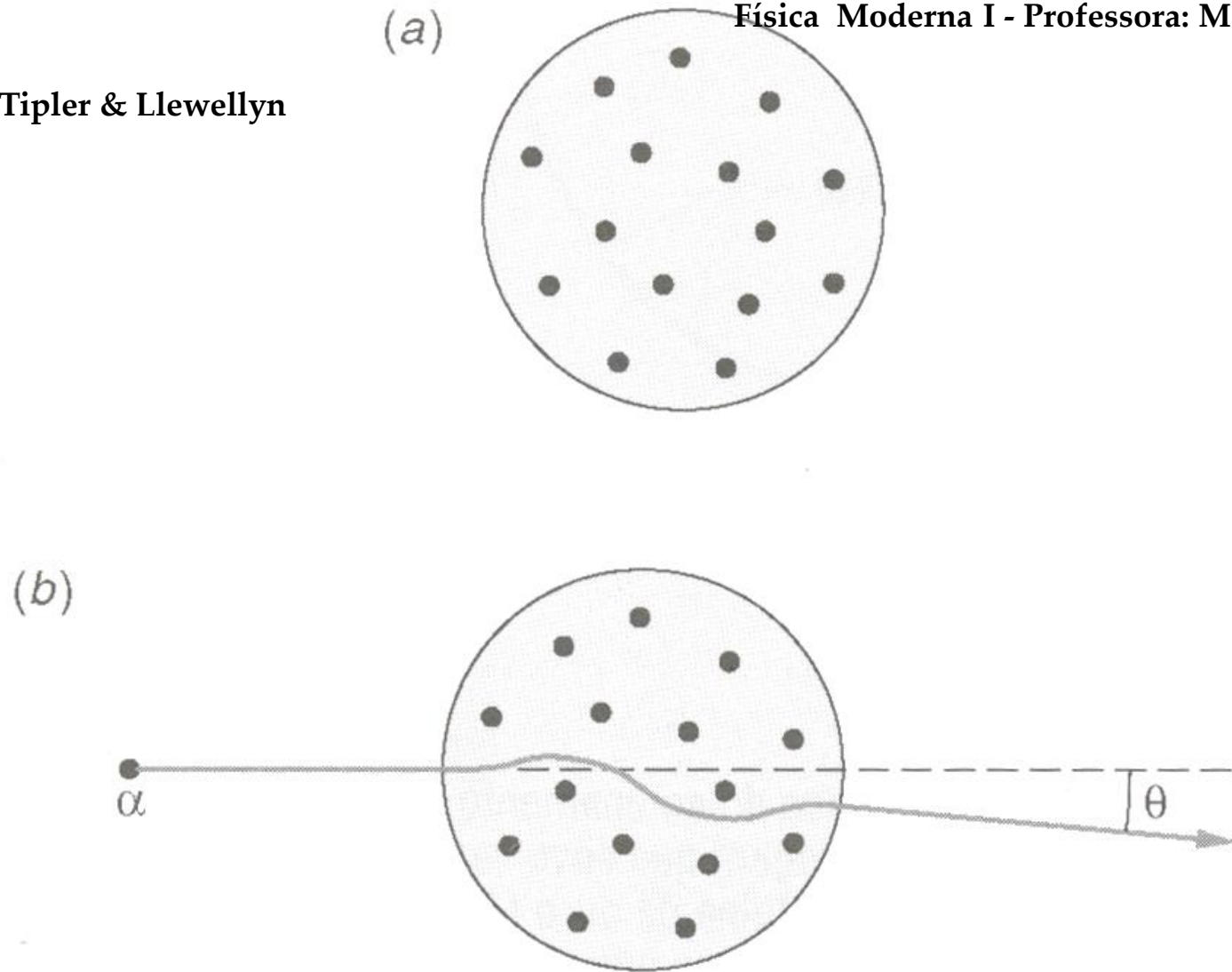


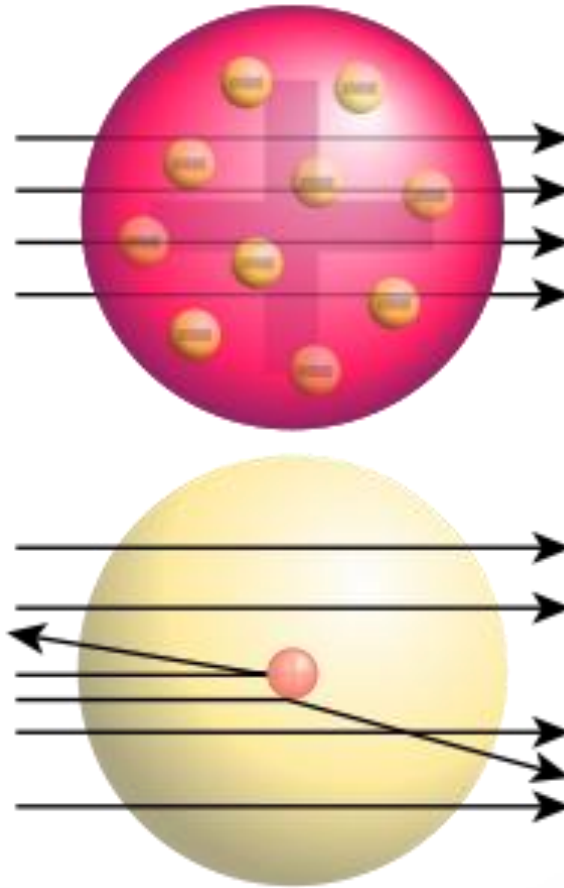
Fig. 4-3 O modelo de Thomson para o átomo. (a) Uma esfera de carga positiva com elétrons embebidos; a carga total é nula. O átomo que aparece na figura seria do elemento alumínio. (b) O desvio sofrido por uma partícula α ao se chocar com um átomo do tipo imaginado por Thomson seria muito menor que 1° .

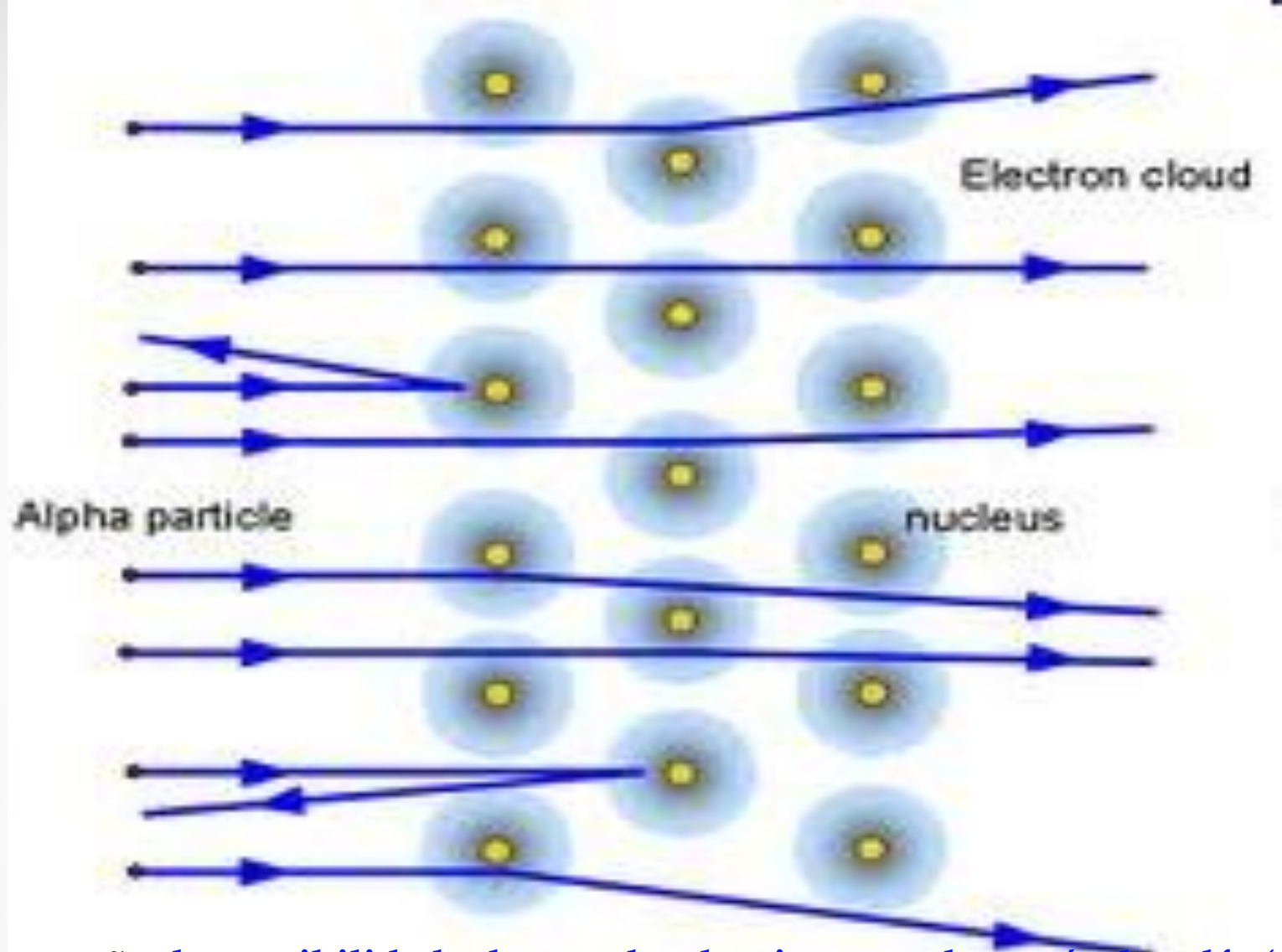
“ Foi praticamente o acontecimento mais inacreditável que aconteceu em minha vida. Era tão inacreditável como se você atirasse um projétil de 15 polegadas sobre um pedaço de papel de seda e ele voltasse e o atingisse”
Rutherford.

http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2011/278/pdf_aberto/nucleoatomico278.pdf/at_download/file



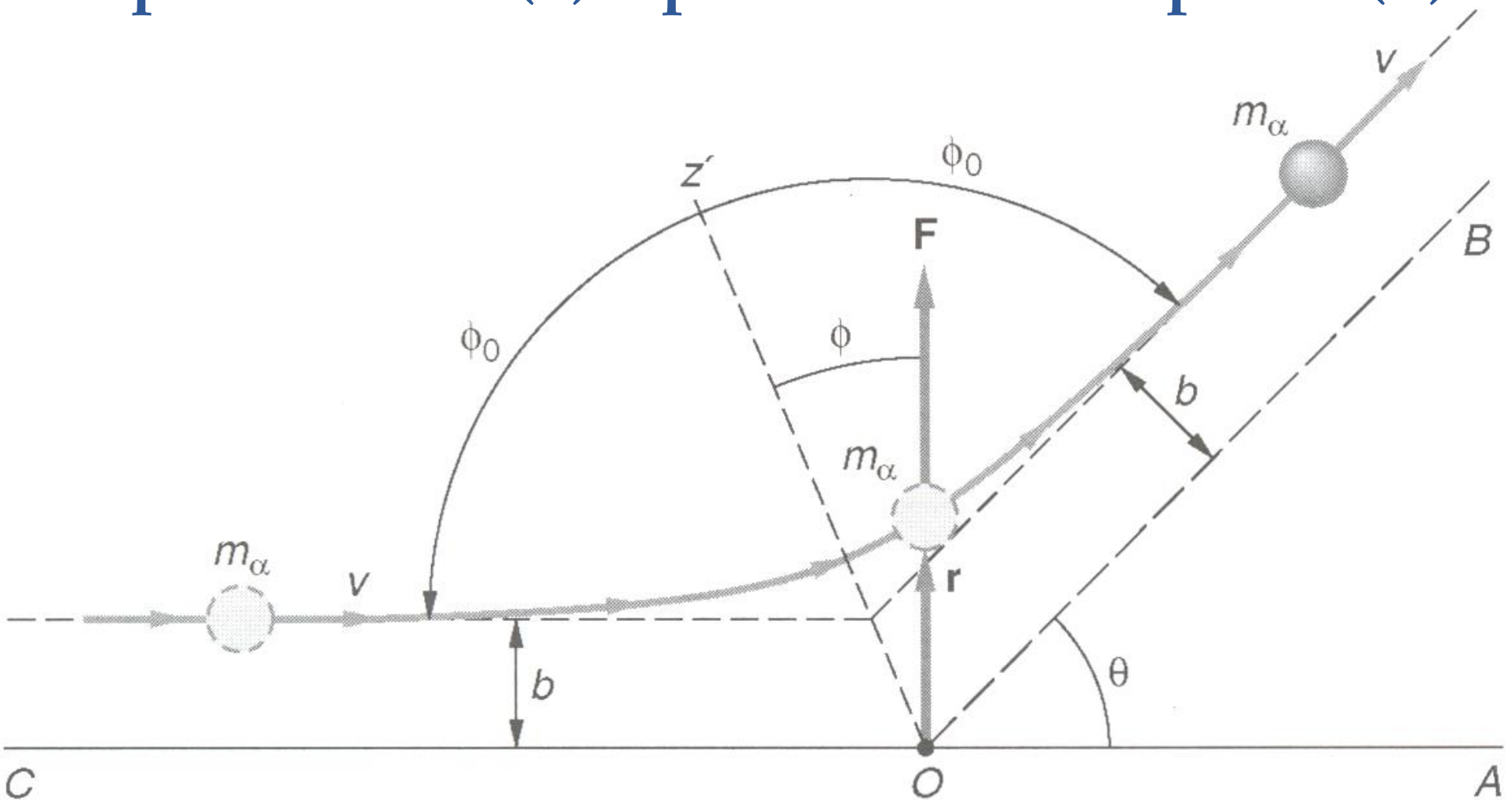
Esquema das partículas alfa (flechas) interagindo com um “átomo de Thomson” e com um “átomo de Rutherford” discussão qualitativa.





Uma ilustração da possibilidade de grandes desvios quando partículas alfa (flechas azuis) de carga $+2e$ interagem, cada uma com um núcleo atômico de carga $+Ze$ (pontos amarelos), por repulsão coulombiana. A interação atrativa com os elétrons (“nuvem” azul) é desprezível pela distribuição deles em torno do núcleo.

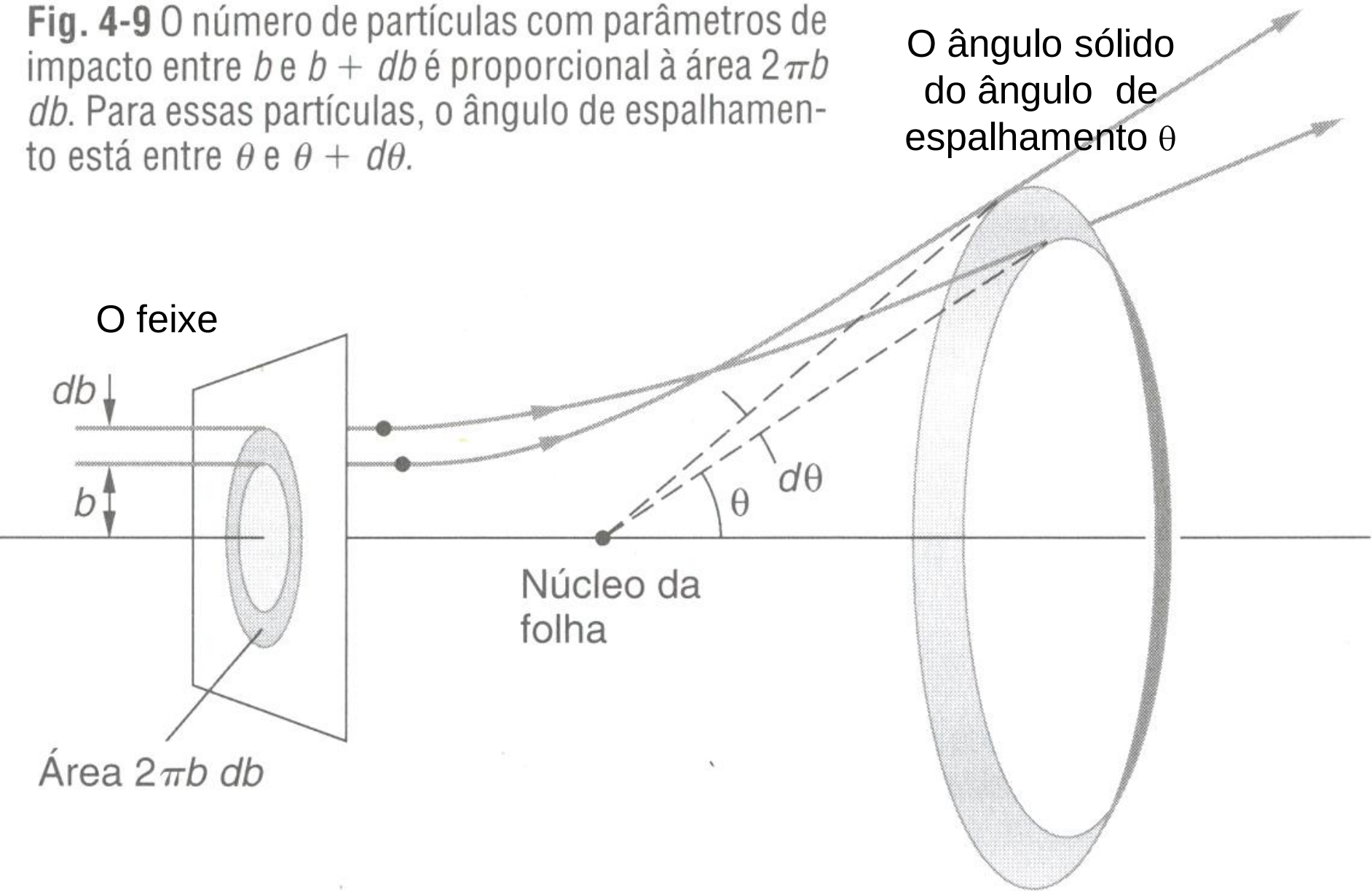
Conceituação: espalhamento elástico, ângulo de espalhamento (θ) e parâmetro de impacto (b)



Alguns conceitos

- 1. Espalhamento elástico: a energia do sistema se conserva antes e depois do movimento.** Assim o espalhamento elástico só ocorre com interações conservativas. Como antes da interação a única energia é a cinética da partícula do feixe, depois da interação é a energia cinética da partícula espalhada.
- 2. O ângulo de espalhamento θ** é o ângulo da direção do movimento da partícula incidente com a direção que ela saiu depois da interação. Pode variar de zero a 180 graus.
- 3. O parâmetro de impacto b** é a distância da linha que passa pela partícula incidente, na direção da sua velocidade incidente (antes da interação) com a linha paralela à esta que passa pela partícula que a espalhará (alvo).
- 4. Há uma relação biunívoca entre o parâmetro de impacto e o ângulo de espalhamento:** menor parâmetro de impacto, maior o ângulo de espalhamento.
- 5. Se além de conservativa a interação for central,** ou seja, dependente apenas da distância entre as duas partículas que interagem, e na linha que os une, **o momento angular do também é uma constante no movimento.**

Fig. 4-9 O número de partículas com parâmetros de impacto entre b e $b + db$ é proporcional à área $2\pi b db$. Para essas partículas, o ângulo de espalhamento está entre θ e $\theta + d\theta$.



O número de partículas espalhadas no ângulo de espalhamento θ na unidade de tempo

1. É proporcional ao número de partículas incidentes do feixe na unidade de tempo.
2. É proporcional ao ângulo sólido a um certo ângulo de espalhamento θ dentro de $d\theta$.

Questão: O efeito da interação entre as partículas do feixe e os constituintes da folha que causou o espalhamento - independente das condições específicas do feixe, do detector?!

Resposta: Definindo a seção de choque diferencial para o espalhamento elástico.

O conceito de Secção de choque diferencial

- Definição:** número de partículas espalhadas elasticamente no ângulo de espalhamento θ (entre θ e $\theta + d\theta$) por um único núcleo espalhador dN^{1N} , por fluxo de partículas incidentes I_o , na unidade de tempo dt e por ângulo sólido $d\Omega$:

$$\frac{d\sigma(\theta, \text{int})}{d\Omega} \equiv \sigma(\theta, \text{int}) = \frac{dN^{1N}(\theta, \text{int})}{dt I_o d\Omega}$$

I_o é o **fluxo de partículas incidentes**:

$$I_0 = \frac{dN_{inc}}{dA_{feixe} dt}$$

$d\Omega$ é o ângulo sólido total no ângulo de espalhamento θ

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = 2\pi \sin\theta d\theta$$

Faça uma análise dimensional na expressão e observe que a seção de choque diferencial tem unidade de área – daí o nome.

A secção de choque diferencial para espalhamento elástico com qualquer interação

$$\frac{dN_{inc}(b)}{dt} = \frac{dN^{1N}(\theta)}{dt} = I_0 2\pi b db$$

$$\frac{d\sigma(\theta, \text{int})}{d\Omega} = \frac{I_0 2\pi b db}{I_0 d\Omega} = \pm \frac{2\pi b db}{2\pi \sin\theta d\theta} = \frac{1}{\sin\theta} \left| \frac{db}{d\theta} \right|$$

Observe que a dinâmica da interação vai definir a relação entre o parâmetro de impacto e o ângulo de espalhamento