

# Laboratório de Física Moderna

# Difração de Raio-X e Elétrons

## Aula 02

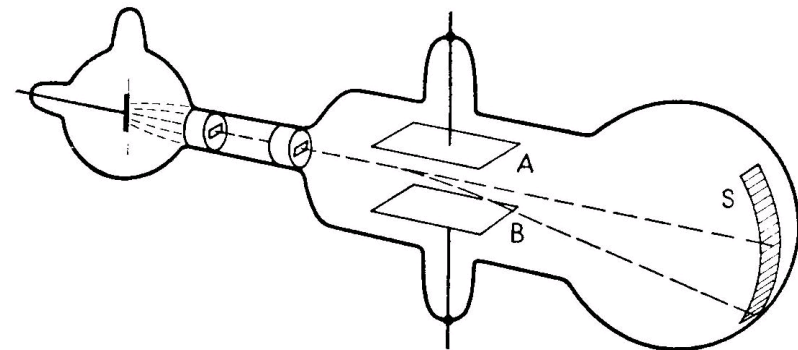
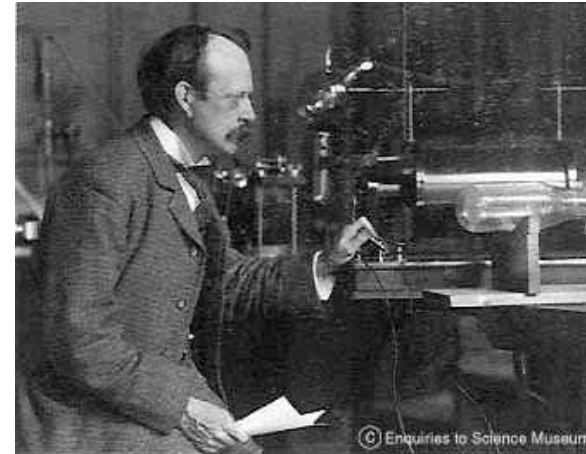
Marcelo G Munhoz  
Edifício HEPIC, sala 202, ramal 916940  
[munhoz@if.usp.br](mailto:munhoz@if.usp.br)

# Contextualização

- Para iniciar nosso experimento, vamos compreender o contexto que o cerca
- Qual o tipo de fenômeno queremos estudar e por que ele é interessante?

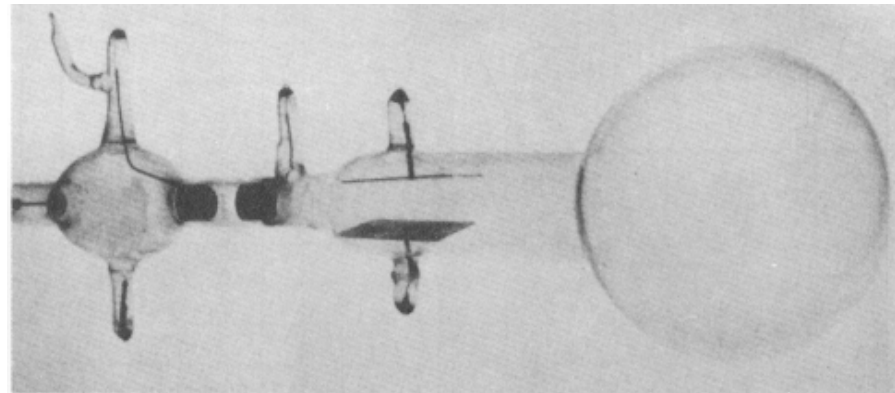
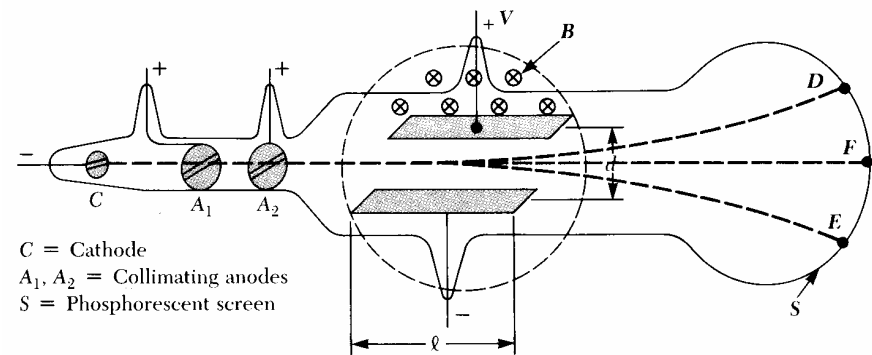
# J. J. Thomson descobre o elétron (1897)

- Thomson estudava descargas elétricas em gases utilizando tubos de raios catódicos
- Através de um experimento e princípios simples de eletromagnetismo, ele mediu a razão  $e/m$  do elétron



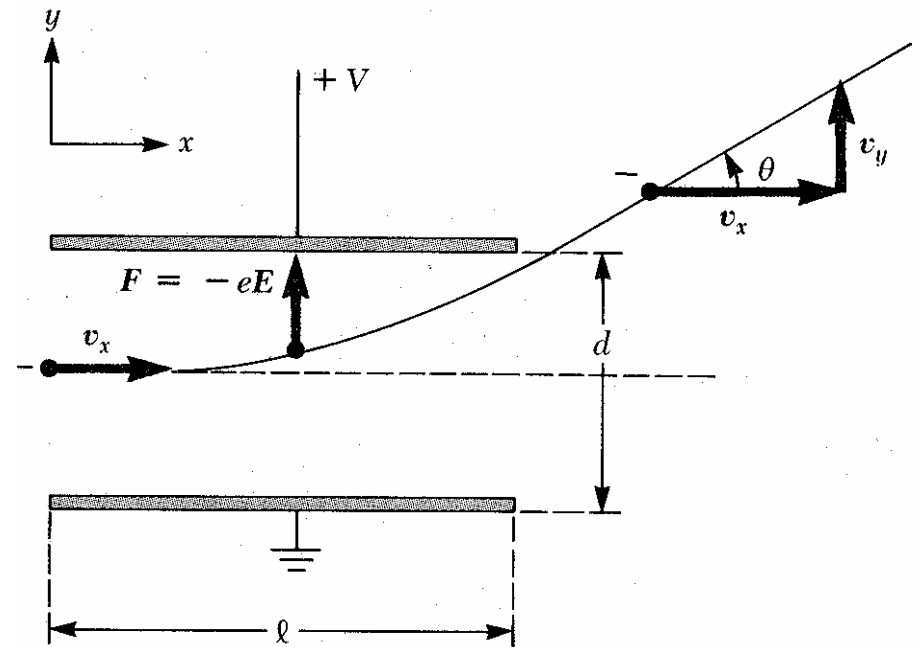
# J. J. Thomson descobre o elétron (1897)

- Thomson submetia os “raios catódicos” a ação de um campo elétrico e media sua deflexão
- Para obter o valor de  $e/m$  ele também precisava aplicar um campo magnético perpendicular ao campo elétrico



# J. J. Thomson descobre o elétron (1897)

- A partir da medida da deflexão dos “raios catódicos” ( $\theta$ ), do valor da tensão aplicada, da distância entre as placas ( $d$ ) e do comprimento das mesmas ( $l$ ) e do valor do campo magnético aplicado, ele obteve a razão  $e/m$



# Limitações do Modelo de Bohr

- Apesar de bem sucedido em vários aspectos, o modelo de Bohr mostra diversas deficiências
- Um exemplo é sua interpretação física. Como podemos compreender, por exemplo, a quantização do momento angular, ou seja, os estados estacionários?

# Hipótese de de Broglie

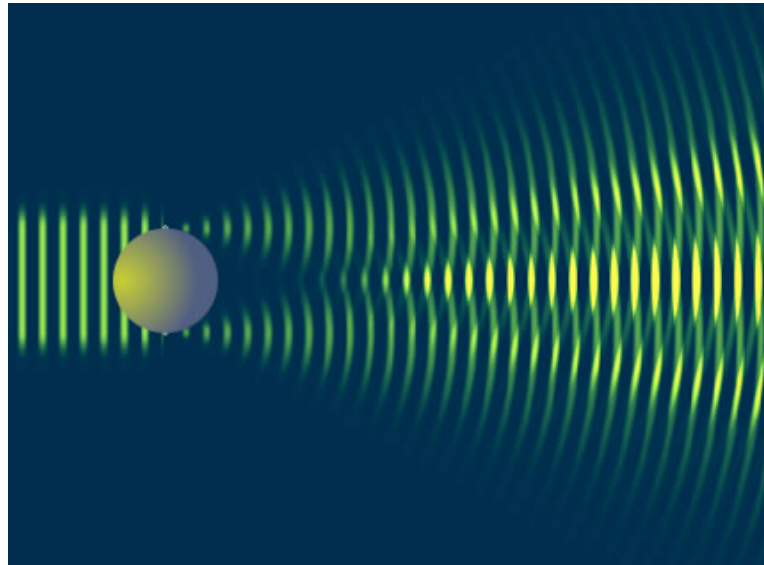


- Em sua tese de doutorado de 1924, Maurice de Broglie propõe que, assim como a radiação eletromagnética tem um caráter dual onda-partícula, a matéria também deve apresentar um caráter ondulatório
- Ele propõe que as partículas de matéria também podem ter associadas a elas propriedades ondulatórias (frequência e comprimento de onda), onde:

$$p = h/\lambda \Rightarrow \lambda = h/p$$

# Difração de elétrons

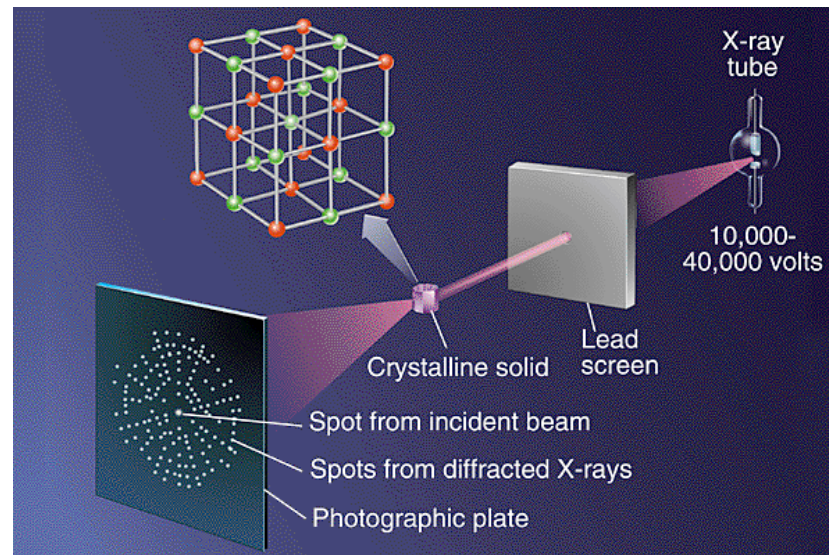
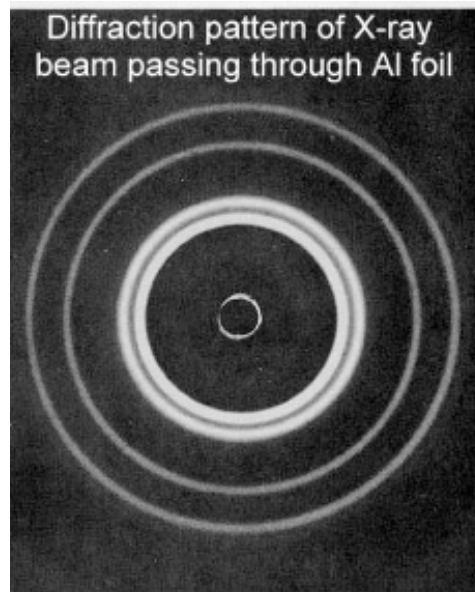
- Como verificar se a hipótese de de Broglie está correta?
- Podemos tentar observar a difração de elétrons, da mesma forma como observamos a difração da luz ou de raios-X





# Difração de elétrons

- Para ocorrer o fenômeno da difração é preciso que a dimensão do “obstáculo óptico” (abertura da fenda, espaçamento em uma rede de difração, etc.) seja da ordem de grandeza do comprimento de onda que se deseja estudar



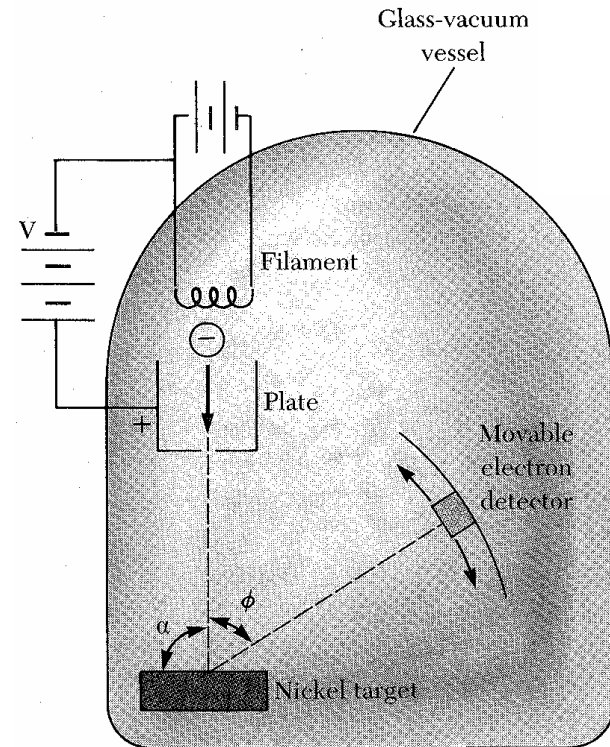
# Difração de elétrons

- Para o caso de elétrons com 100 eV de energia espera-se, segundo a relação de de Broglie, que:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mK}} = \frac{6.6 \times 10^{-34} J \cdot s}{\sqrt{2 \cdot 9.1 \times 10^{-31} kg \cdot 100 eV \cdot 1.6 \times 10^{-19} J/eV}} = 1.2 \times 10^{-10} m$$

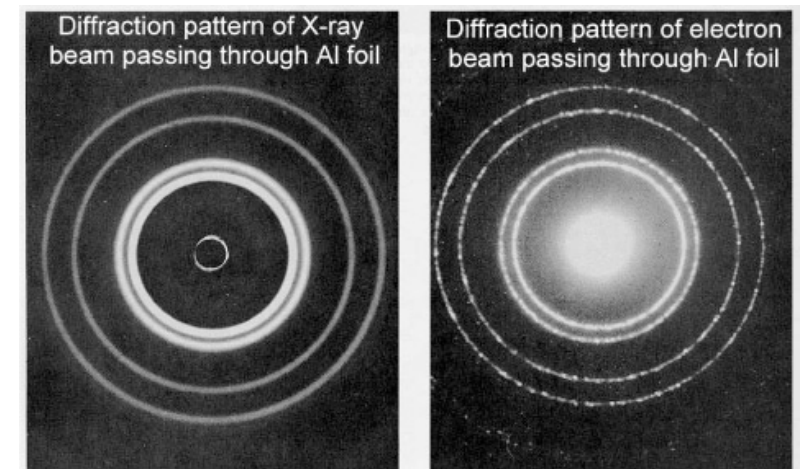
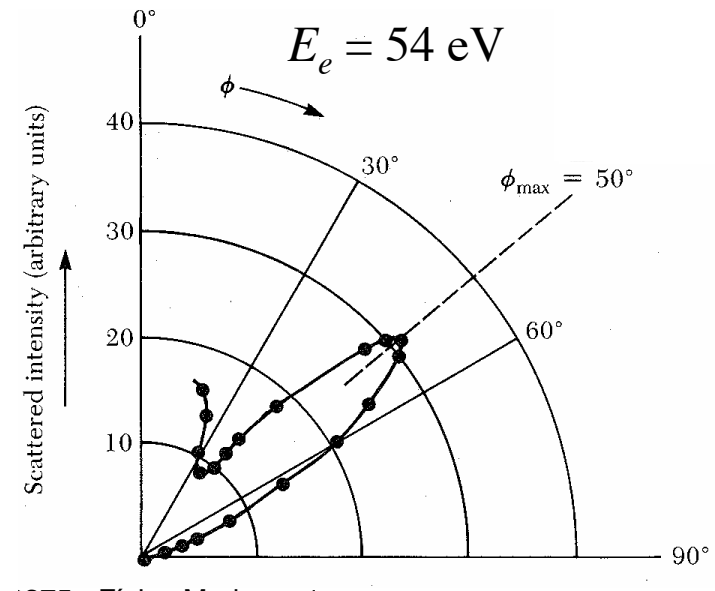
# Difração de elétrons

- Clinton J. Davisson e Lester H. Germer realizaram um experimento que demonstrou a difração de elétrons em 1927
- Eles estudaram a quantidade de elétrons que eram espalhados em uma superfície de Ni em função do ângulo de espalhamento



# Difração de elétrons

- Eles observaram que, para elétrons com energia de 54 eV, a quantidade de elétrons espalhados apresentava picos em função do ângulo, como no caso de uma figura de difração
- O primeiro pico se encontrava em  $50^\circ$



# Difração de elétrons

- Portanto, o comprimento da onda difratada nesse caso é dado por

$$\lambda = d \cdot \text{sen}(\theta) = 2.15 \times 10^{-10} m \cdot \text{sen}(50^\circ) = 1.65 \times 10^{-10} m$$

- Por outro lado, o comprimento de onda esperado para esses elétrons é:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mK}} = \frac{6.6 \times 10^{-34} J \cdot s}{\sqrt{2 \cdot 9.1 \times 10^{-31} kg \cdot 54 eV \cdot 1.6 \times 10^{-19} J/eV}} = 1.67 \times 10^{-10} m$$

# Objetivos

- Estudar a difração de elétrons e medir seu comprimento de onda, comparando o resultado com a previsão de de Broglie.

# Procedimento

- Ajustar a posição do feixe de elétrons de forma a obter o padrão de interferência
- Medir a distância entre os pontos de máxima intensidade



# Análise

- Através da lei de Bragg e da informação sobre as distâncias planares dos cristais do equipamento, obter o comprimento de onda dos elétrons
- Sabendo a energia dos elétrons emitidos, comparar com a previsão de de Broglie