

# Laboratório de Física Moderna

## Difração de Elétrons

### Aula 01

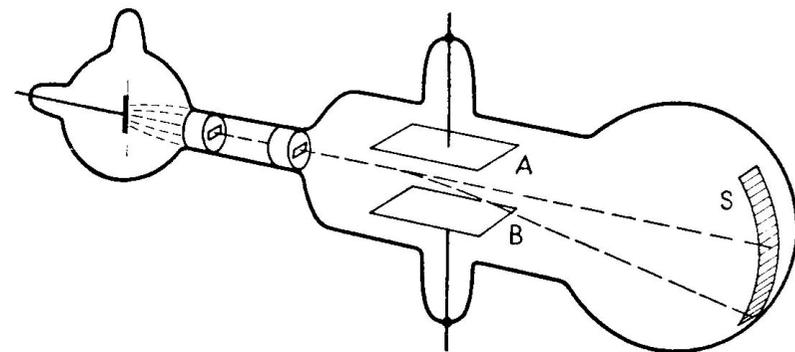
Marcelo G Munhoz  
Edifício HEPIC, sala 212, ramal 916940  
[munhoz@if.usp.br](mailto:munhoz@if.usp.br)

# 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?

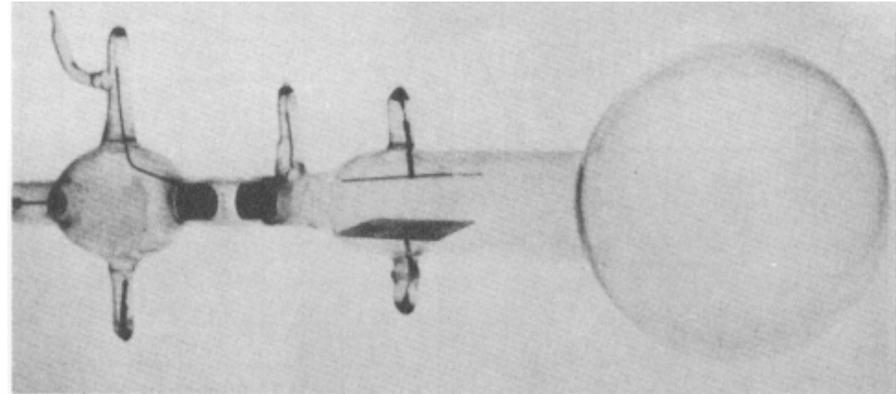
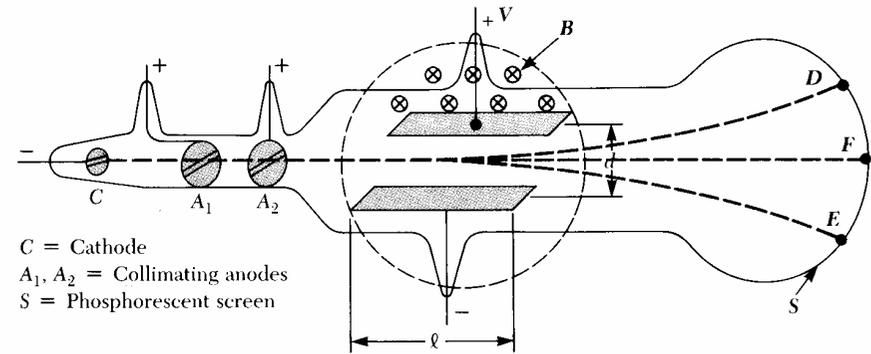
# J. J. Thomson descobre o elétron (1897)

- 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



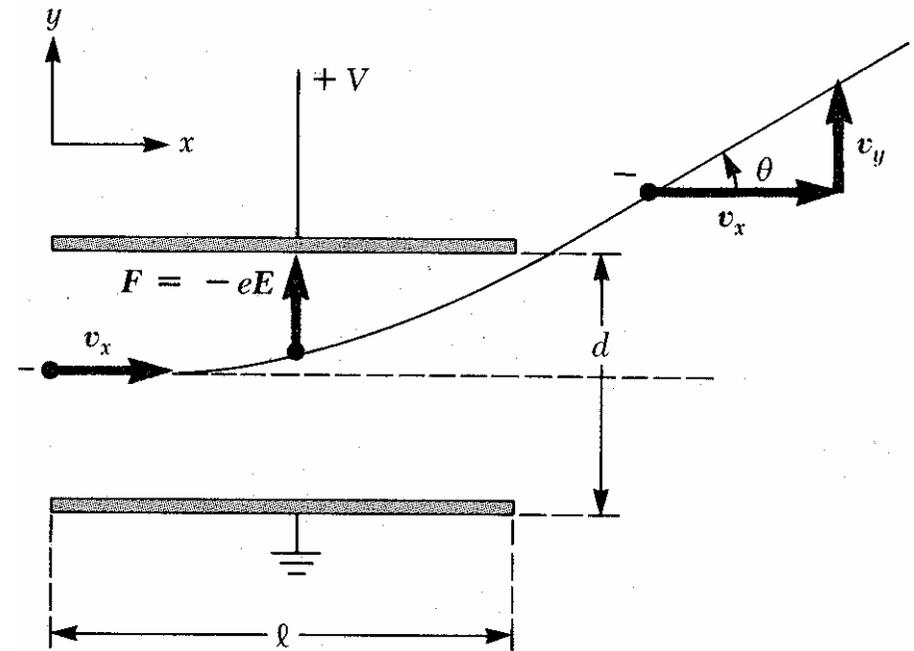
# J. J. Thomson descobre o elétron (1897)

- 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

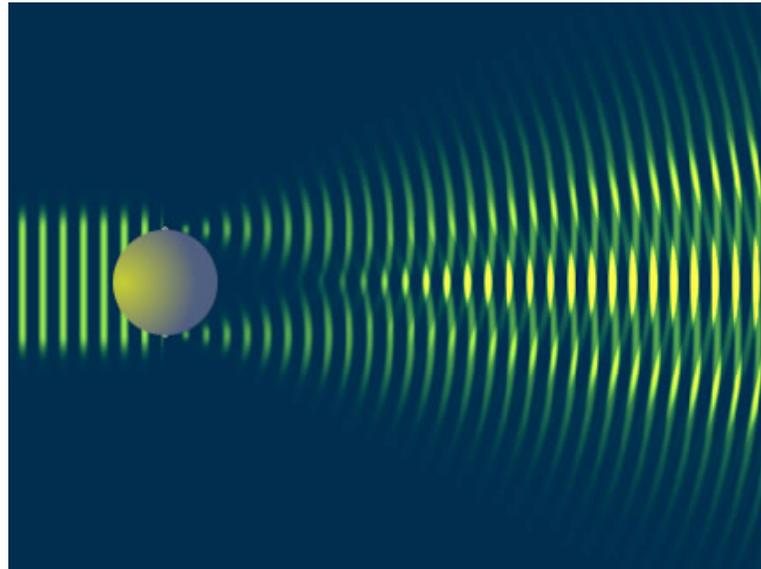


- Em sua tese de doutorado de 1924, Maurice de Broglie propõe que, assim como a radiação eletromagnética tem um caráter dual onda-partícula, a matéria também deve apresentar um caráter ondulatório
- Ele propõe que as partículas de matéria também podem ter associadas a elas propriedades ondulatórias (frequência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

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

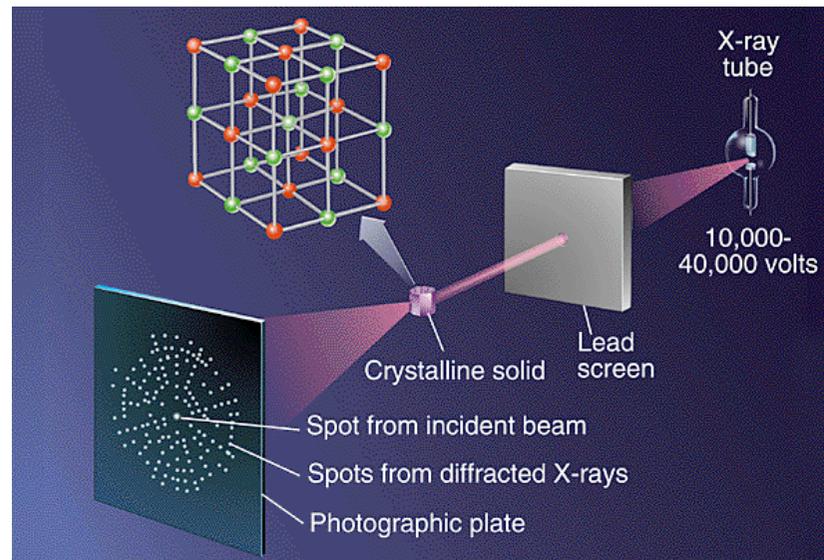
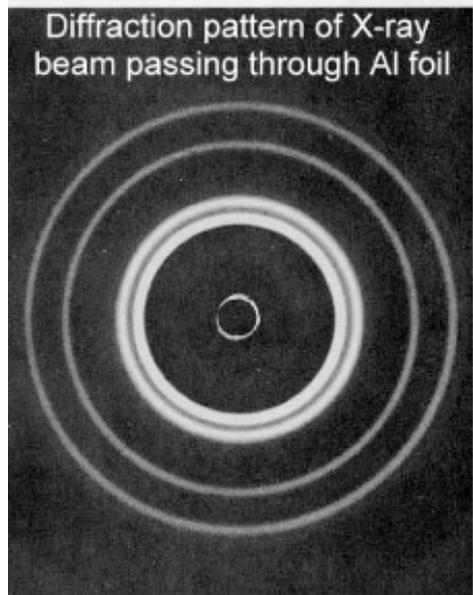
# Difração de elétrons

- 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



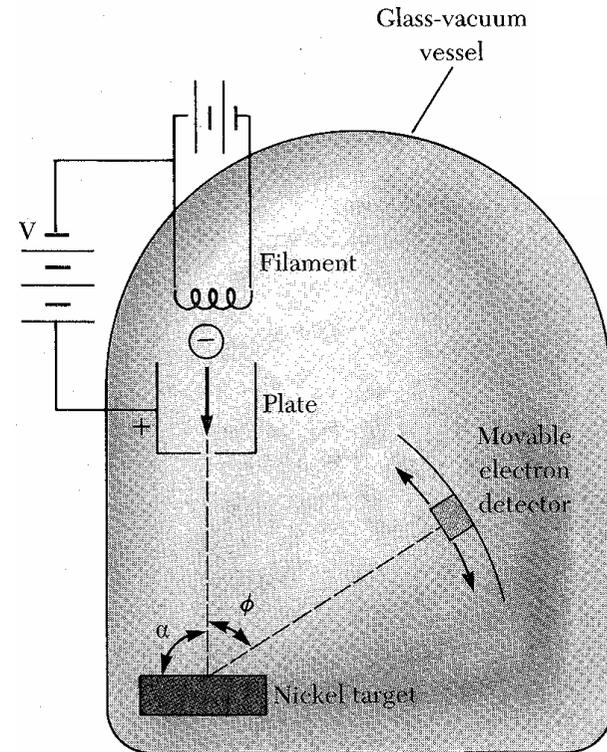
# Difração de elétrons

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

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

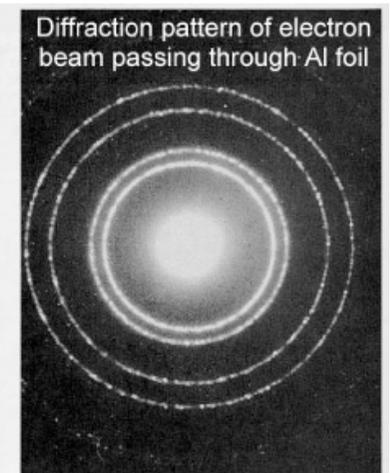
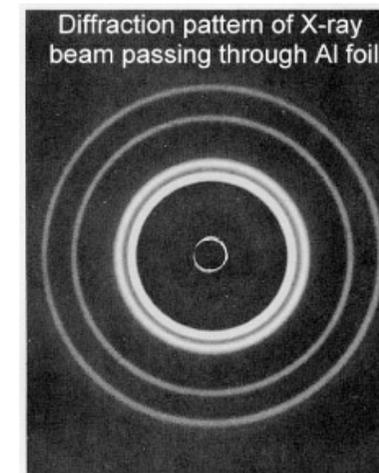
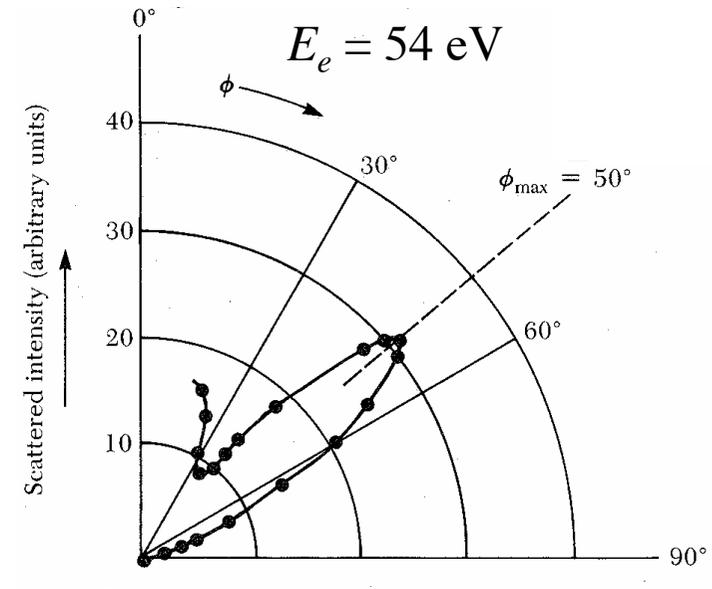
# Difração de elétrons

- 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°



# Difração de elétrons

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

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

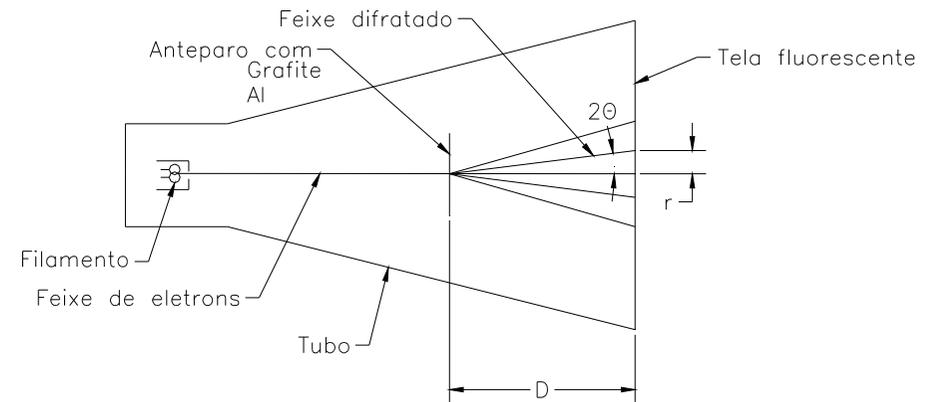
- Por outro lado, o comprimento de onda esperado para esses elétrons é:

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

# Objetivos

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

# Aparato Experimental



- Um feixe de elétrons acelerados por uma diferença de potencial atinge um cristal (rede de difração) que gera o fenômeno de difração dos elétrons, cujo padrão pode ser visto em uma tela fluorescente



# Análise de Dados

- 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

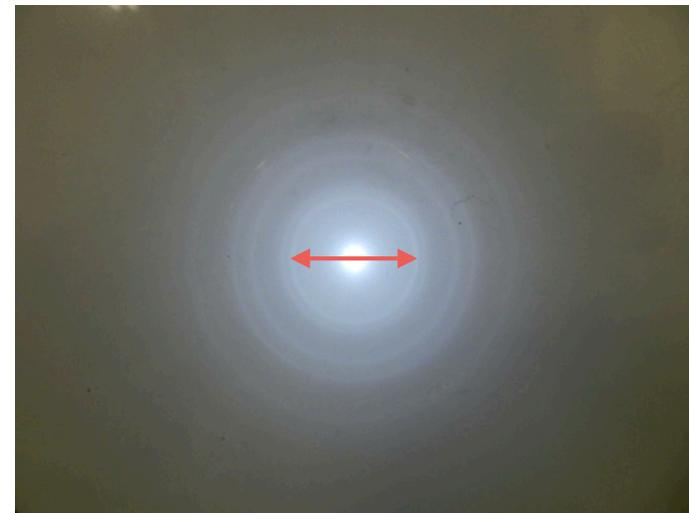
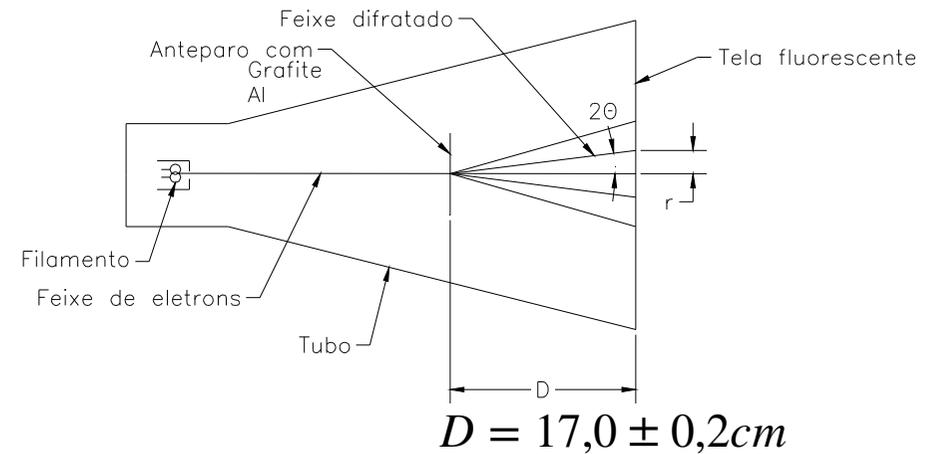
# Análise de Dados

- Dado o raio ( $r$ ) do anel de interferência, pode-se obter o ângulo de espalhamento a partir da expressão:

$$2\theta = \arctan\left(\frac{r}{D}\right)$$

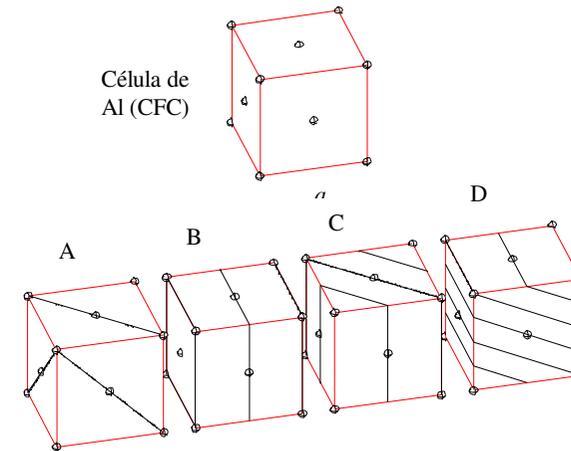
- E o comprimento de onda será dado pela lei de Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin(\theta)$$



# Análise de Dados

- A rede de difração usada é um Cristal de Alumínio, que estabelece o valor de  $d$ , conforme a tabela ao lado, sendo  $a = 4,04 \pm 0.01 \text{Å}$
- Os diferentes valores de  $d$  se devem às várias projeções da rede cristalina



Família	$d$	$n$	$\frac{2d}{n}$	Ângulo
A	$\frac{a}{\sqrt{3}}$	1	$\frac{2a}{\sqrt{3}}$	$\theta_1$
B	$\frac{a}{2}$	1	$a$	$\theta_2$
C	$\frac{a}{2\sqrt{2}}$	1	$\frac{a}{\sqrt{2}}$	$\theta_3$
D	$\frac{a}{\sqrt{11}}$	1	$\frac{2a}{\sqrt{11}}$	$\theta_4$
A	$\frac{a}{\sqrt{3}}$	2	$\frac{a}{\sqrt{3}}$	$\theta_5$
B	$\frac{a}{2}$	2	$\frac{a}{2}$	$\theta_6$

# Atividades para o Próximo Encontro

- Obter o comprimento de onda dos elétrons a partir da medida do diâmetro dos anéis de interferência
- Comparar com o valor esperado obtido com a equação de de Broglie, sendo a energia dos elétrons dada por  $E = 10keV$