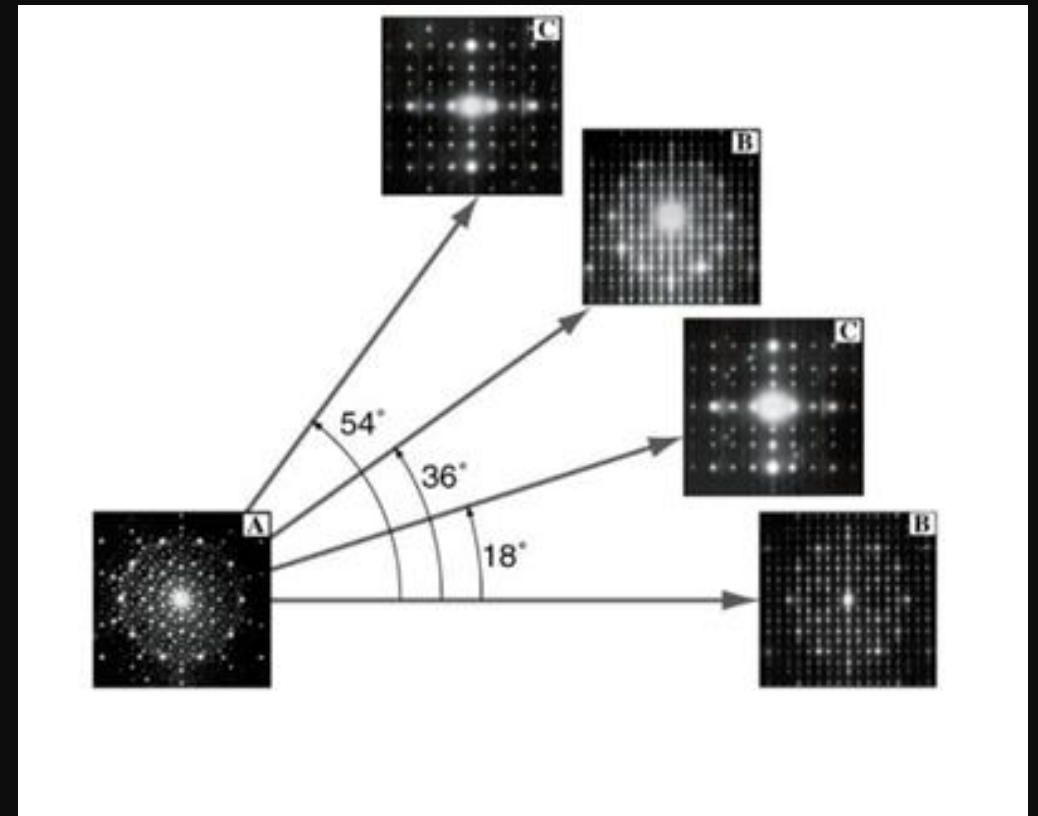


Difração de elétrons

Rodolfo Fabiano Lisboa Malavasi

Prof^a: **Laura Paulucci Marinho**

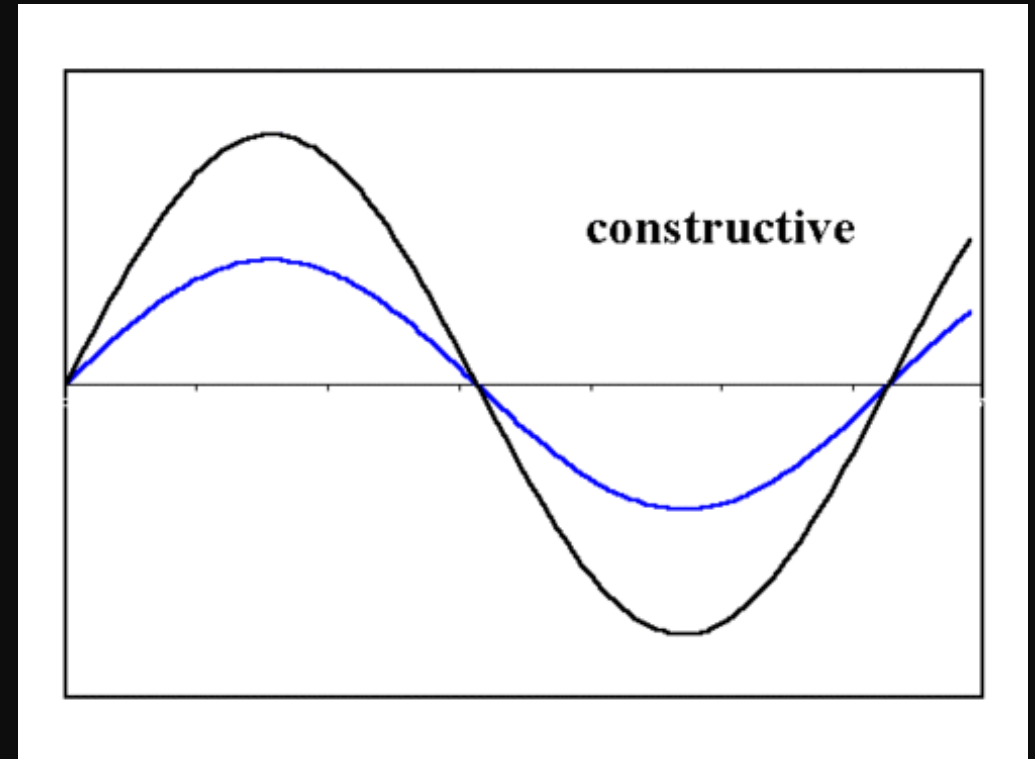


Introdução

- “Não somente as ondas apresentam características de partículas, mas também, as partículas apresentam comportamento ondulatório”.(de Broglie)

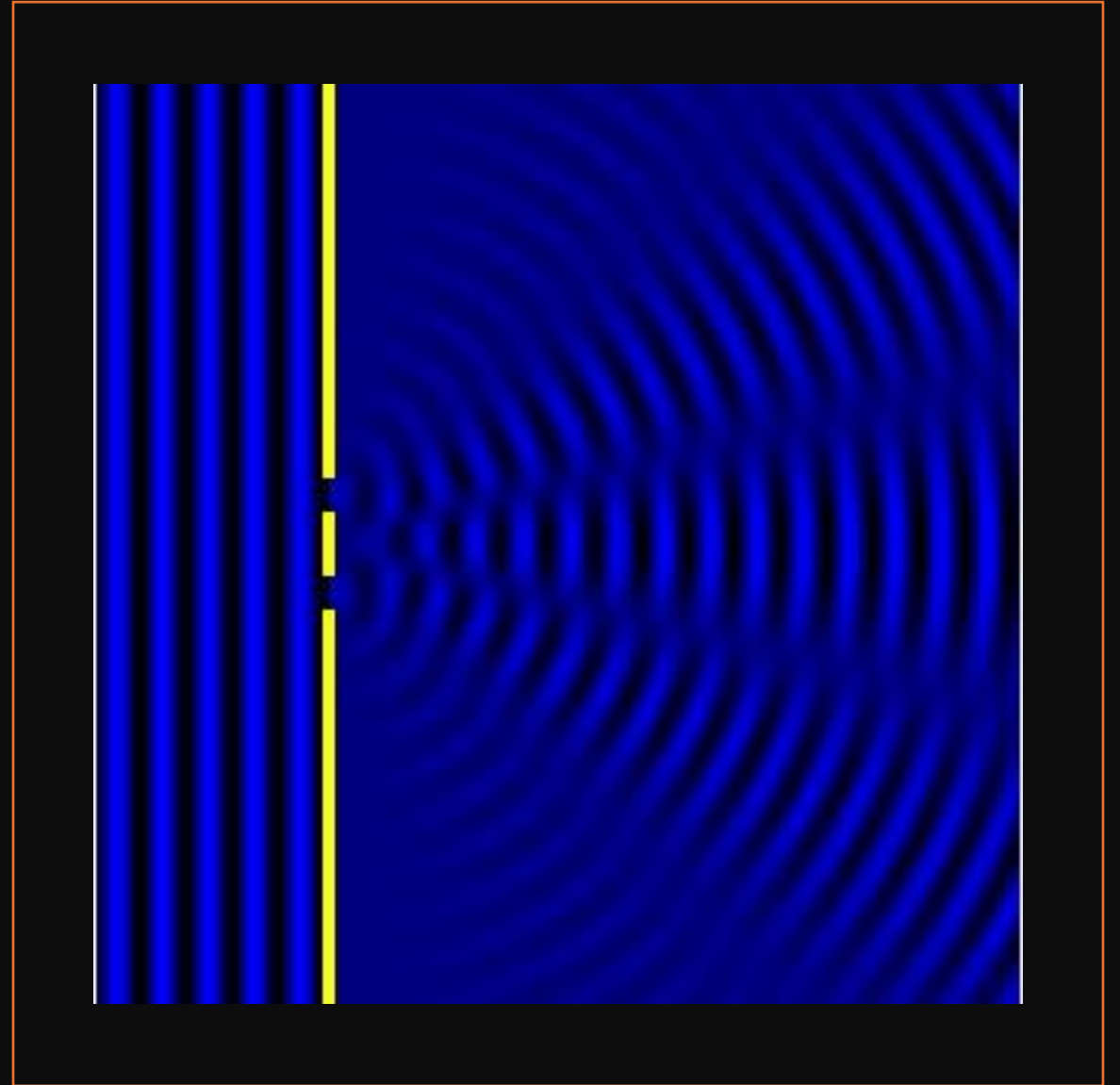
Interferência

A interferência de ondas consiste na superposição de duas ondas no espaço. Esse fenômeno pode ser classificado de duas formas: interferência construtiva ou destrutiva.



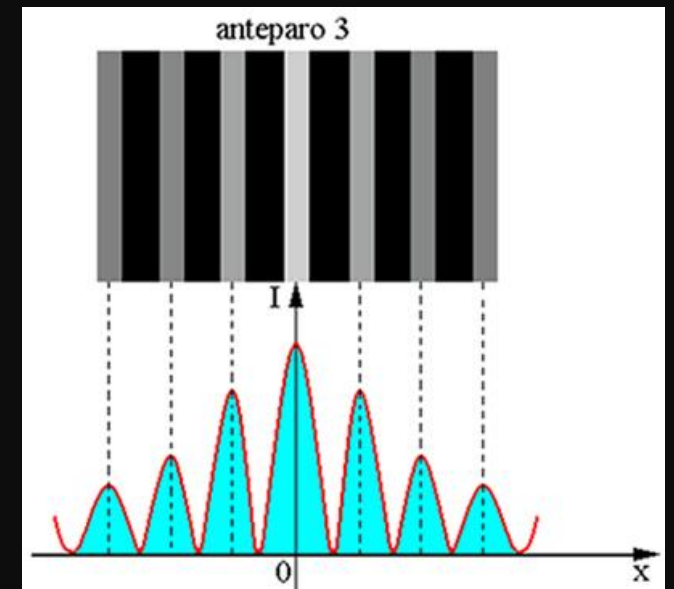
Difração

Fenômeno físico que acontece quando uma onda encontra um obstáculo, permitindo que a onda contorne estes obstáculos e se espalhe ao passar por uma abertura



Experiência da dupla fenda

- A experiência da dupla fenda, também conhecida como experiência de Thomas Young, é o resultado empírico de uma montagem experimental que utiliza a luz como objeto de estudo na Física.
- Em 1801, Thomas Young demonstrou através de um experimento de dupla fenda a natureza ondulatória da luz ao observar a difração e a interferência quando a luz passava por duas fendas paralelas. Ao final do experimento foi observado um padrão de difração dessas ondas, demonstrando assim a natureza ondulatória da luz.



Louis de Broglie

- Relacionou o comprimento de onda (λ) com a quantidade de movimento (p) da partícula.
- Postulou que se elétrons fossem adequadamente submetidos ao experimento de dupla fenda, também apresentariam um padrão de interferência.
- “Não somente as Ondas apresentam características de partículas, mas também, as partículas apresentam comportamento ondulatório”.



De Broglie Equation

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

wavelength (m) → λ ← Plank's Constant (6.63×10^{-34} J·s)
mass (kg) → m ← Velocity (m/s) → v

Louis de Broglie

- *[...] a determinação dos movimentos estáveis dos elétrons no átomo envolve números inteiros, e até agora os únicos fenômenos que envolvem números inteiros em física foram aqueles de interferência e de autovibrações. Isso sugeriu a ideia para mim que elétrons não poderiam ser representados como simples corpúsculos, mas também deveria haver uma periodicidade relacionada com eles. Eu, então, cheguei à seguinte conclusão que guiaram meus estudos: para ambos, matéria e radiação, luz em particular, é necessário introduzir o conceito corpuscular e o conceito ondulatório ao mesmo tempo. Em outras palavras, a existência de corpúsculos acompanhados por ondas tem de ser considerada em todos os casos. (DE BROGLIE, 1929, p.4)*
-



Momento de um Fóton

- A natureza dual da matéria é aparente nas duas equações porque cada uma contém tanto conceitos corpusculares (p e E) quanto conceitos ondulatórios (λ e f).

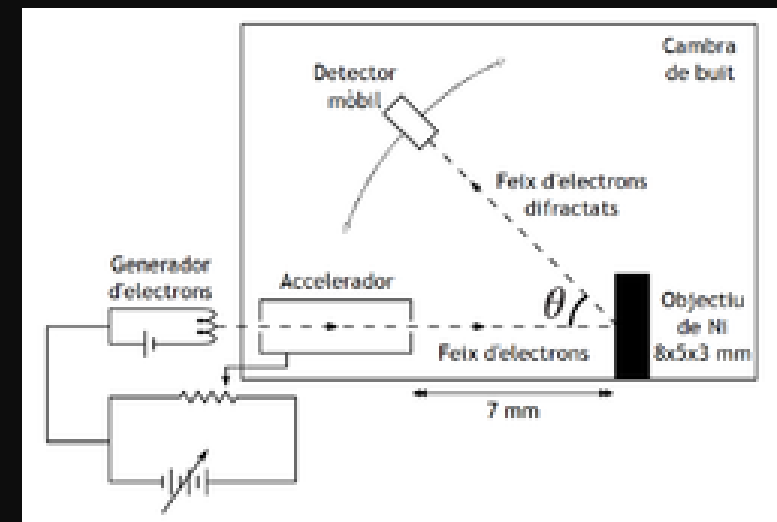
$$E = h\nu$$

$$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$



Experimento de Davisson–Germer

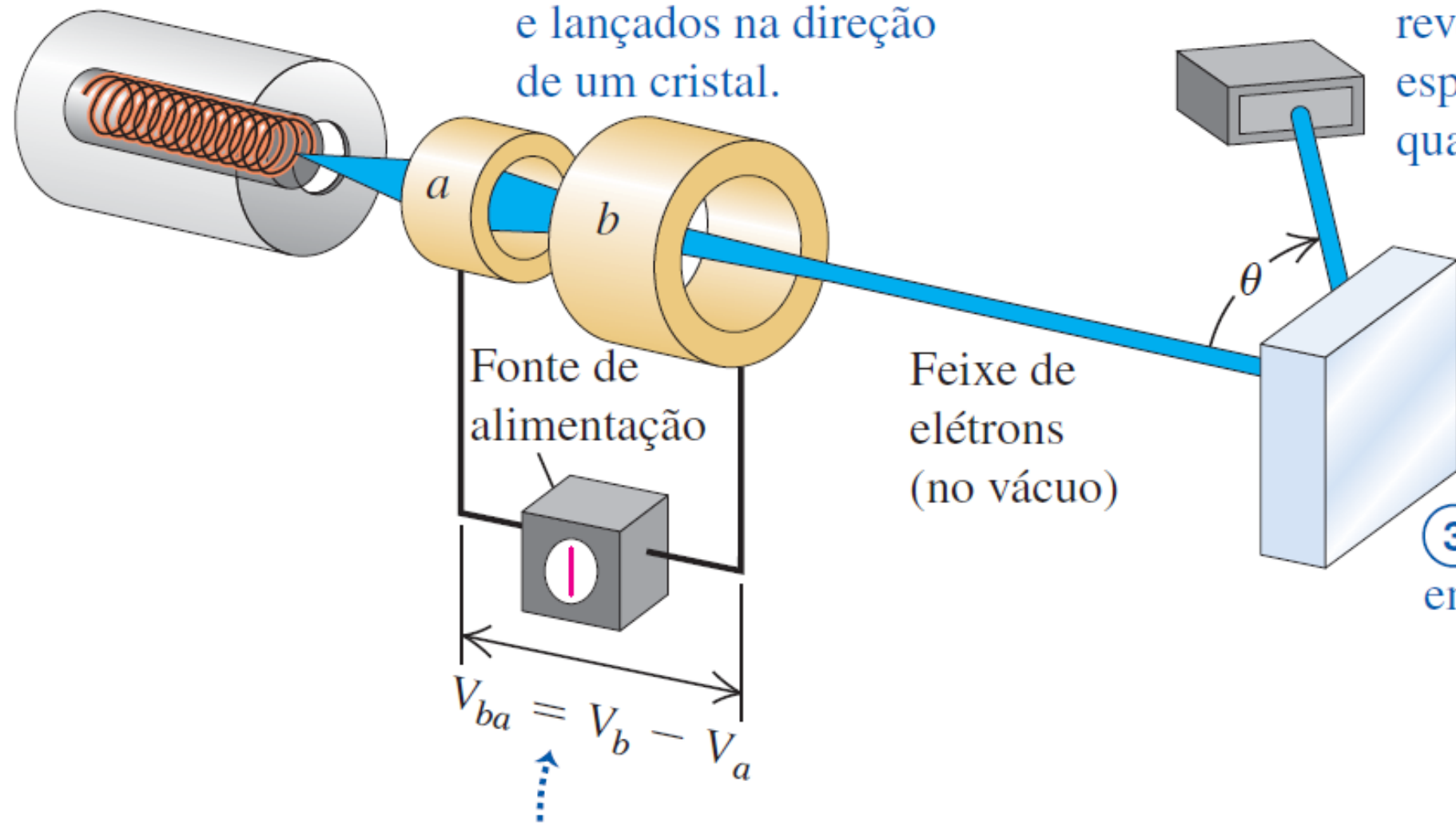
- Em 1927, no Bell Labs, Clinton Davisson e Lester Germer lançaram elétrons lentos em um alvo de níquel cristalino. A dependência angular da intensidade dos elétrons refletidos foi medida, e foi verificado que havia um padrão de difração semelhante àqueles previstos por Bragg para os raios X. Esse experimento foi replicado por George Paget Thomson.



① Um filamento aquecido emite elétrons.

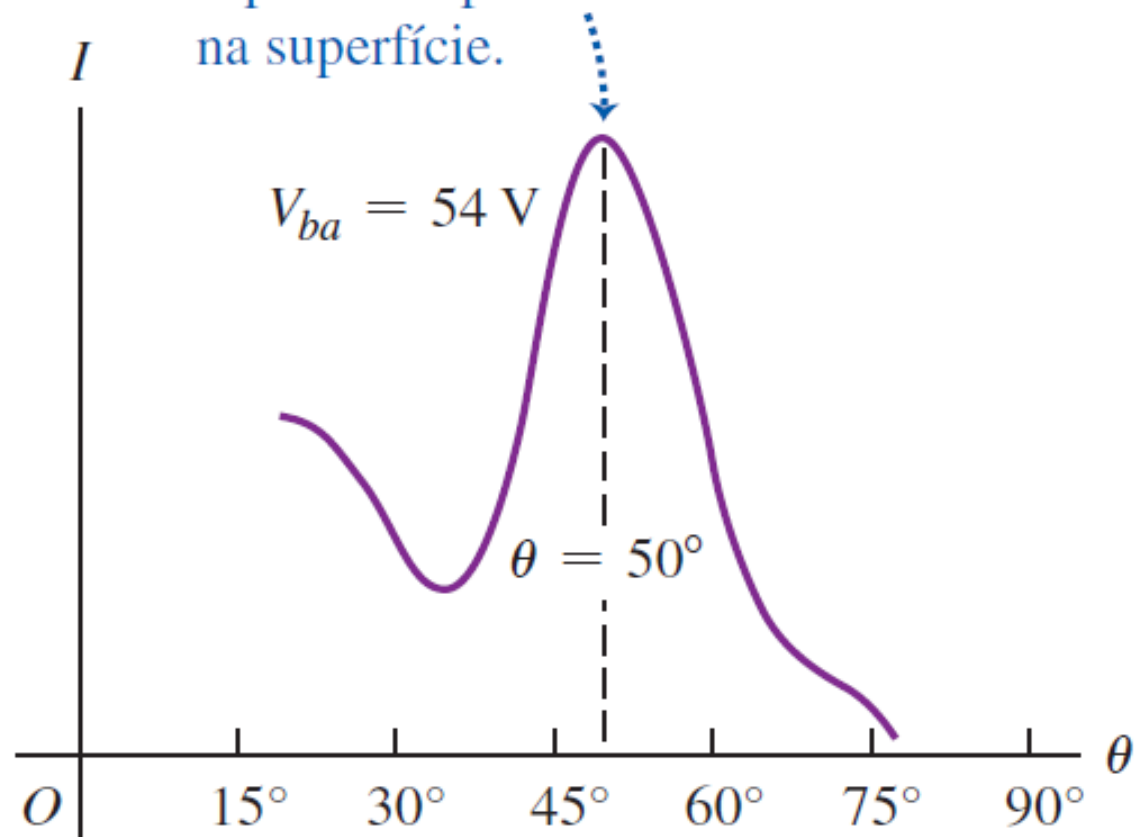
② Os elétrons são acelerados por eletrodos e lançados na direção de um cristal.

④ O detector pode ser deslocado para revelar elétrons espalhados em qualquer ângulo θ .

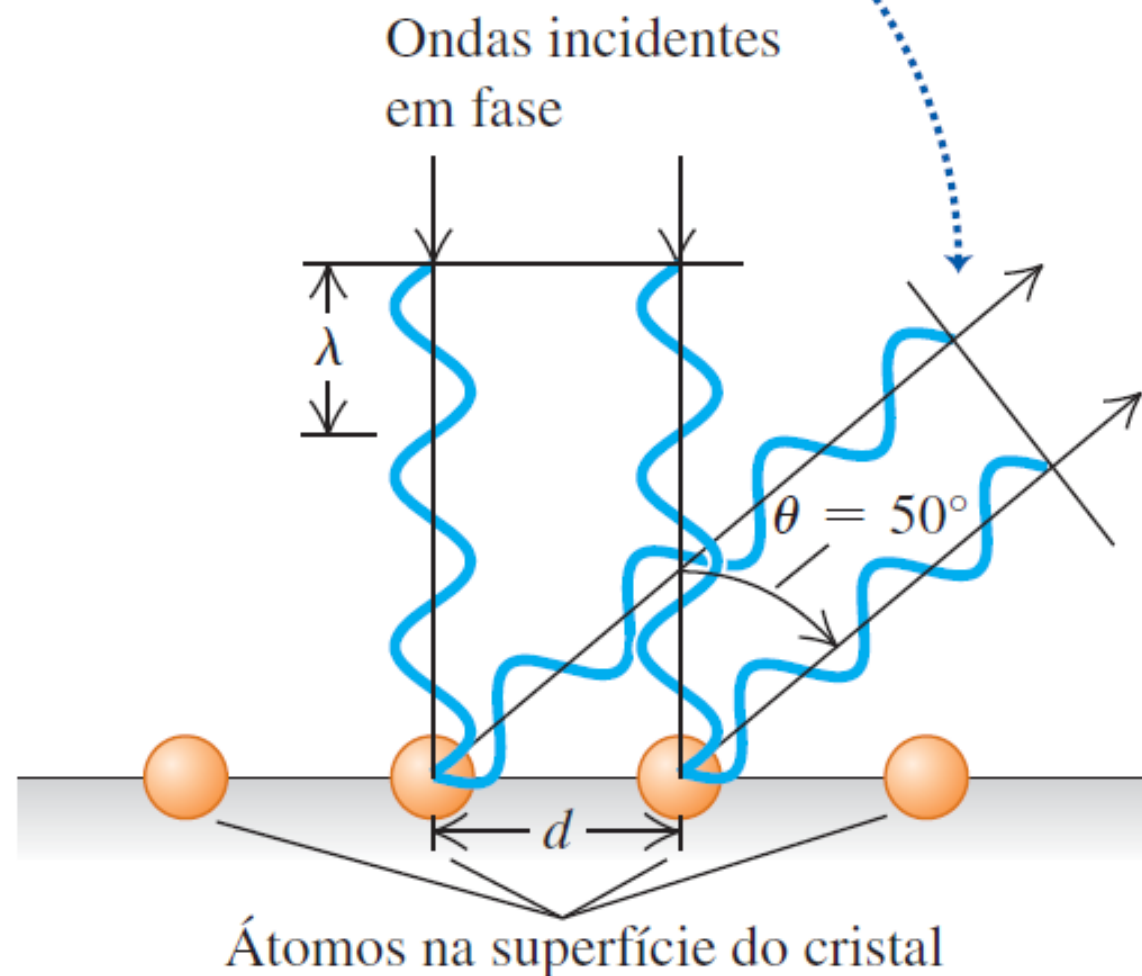


③ Os elétrons incidem em um cristal de níquel.

- (a) Este pico na intensidade dos elétrons espalhados se deve à interferência construtiva entre as ondas dos elétrons espalhadas por diferentes átomos na superfície.



- (b) Se as ondas espalhadas estão em fase, há um pico na intensidade dos elétrons espalhados.



George Paget Thomson

- Demonstrou que os elétrons sofrem difração que é amplamente explorado na determinação da estrutura atômica dos sólidos e líquidos e que prova o princípio da dualidade onda-partícula
- J.J. Thomson ganhou o Nobel por demonstrar que o elétron é uma partícula, G.P. Thomson, seu filho, ganhou por demonstrar que é uma onda.

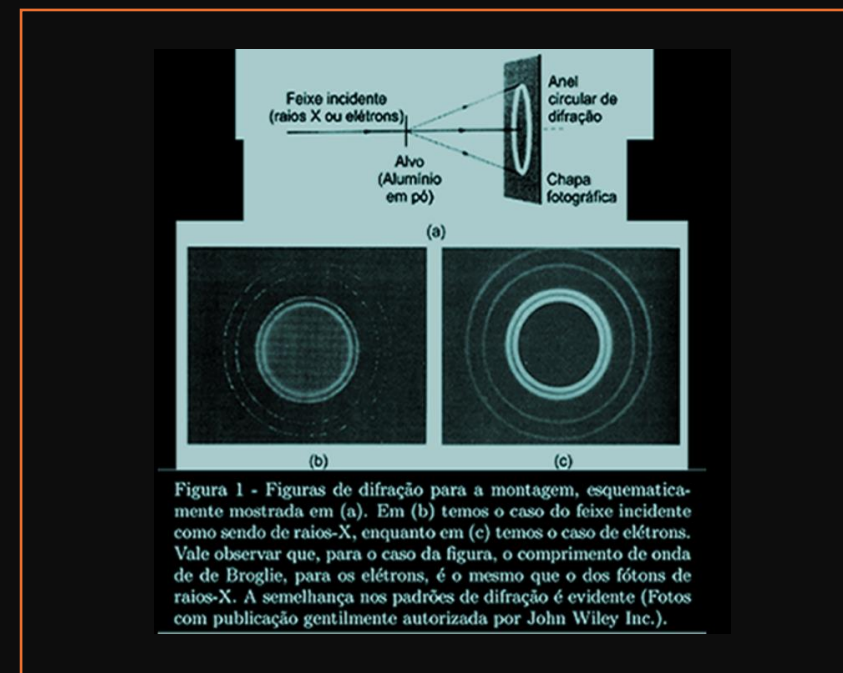
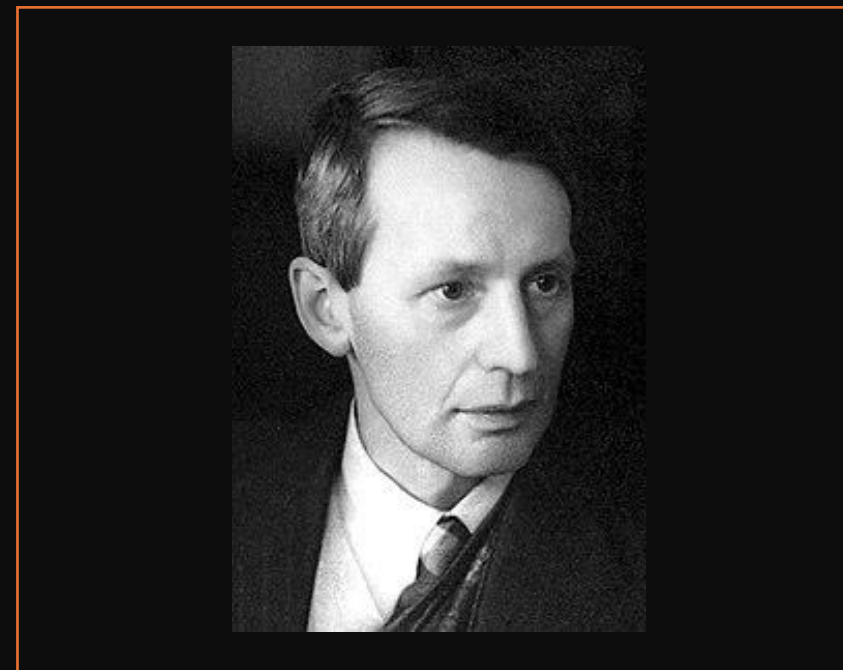
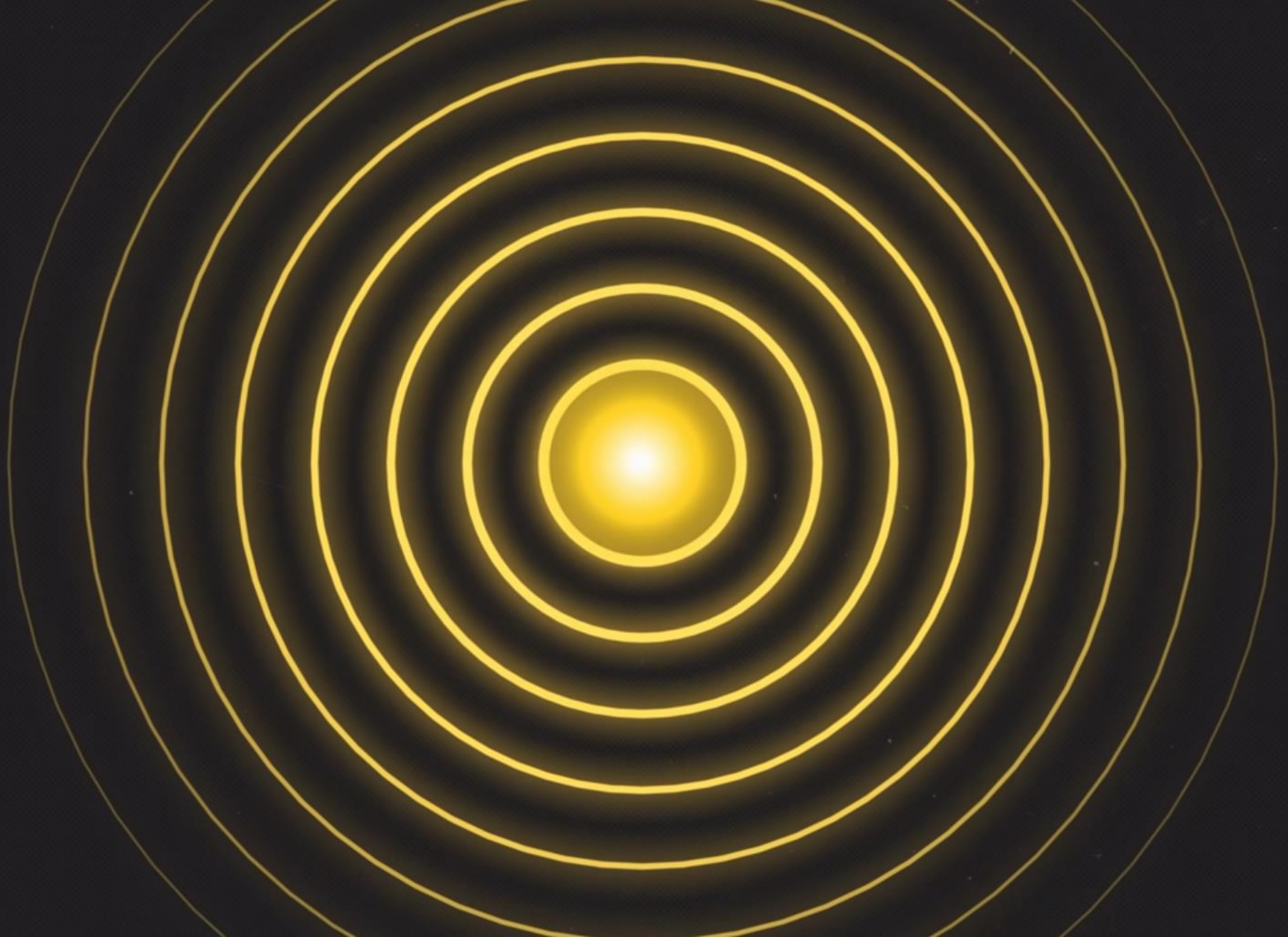
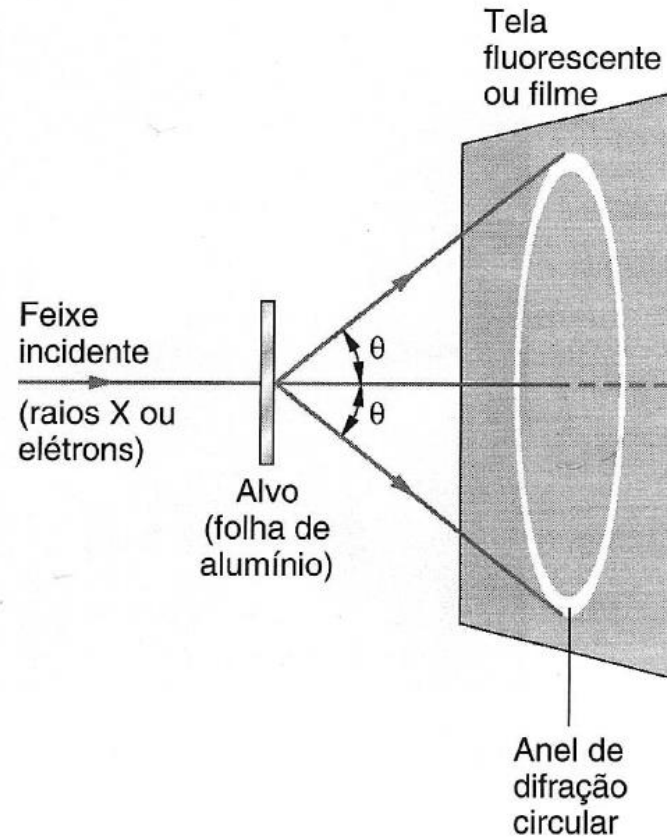


Figura 1 - Figuras de difração para a montagem, esquematicamente mostrada em (a). Em (b) temos o caso do feixe incidente como sendo de raios-X, enquanto em (c) temos o caso de elétrons. Vale observar que, para o caso da figura, o comprimento de onda de de Broglie, para os elétrons, é o mesmo que o dos fótons de raios-X. A semelhança nos padrões de difração é evidente (Fotos com publicação gentilmente autorizada por John Wiley Inc.).



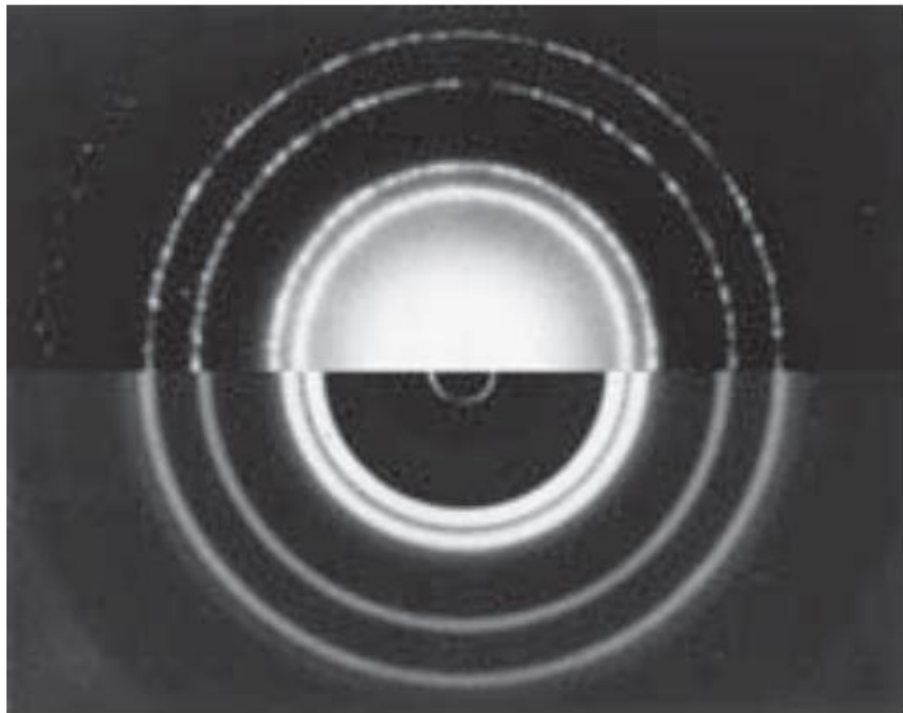
Uma confirmação independente da relação de de Broglie foi feita por G. P. Thomson, observando que o padrão de difração produzido por Raios X e por um feixe de elétrons incidentes sobre uma folha metálica são muito semelhantes.



A metade superior da foto mostra a figura de difração para raios X de 71 pm passando através de uma folha de alumínio.

A metade inferior da foto mostra, em uma escala diferente, a figura de difração para elétrons de 600 eV passando através de uma folha de alumínio.

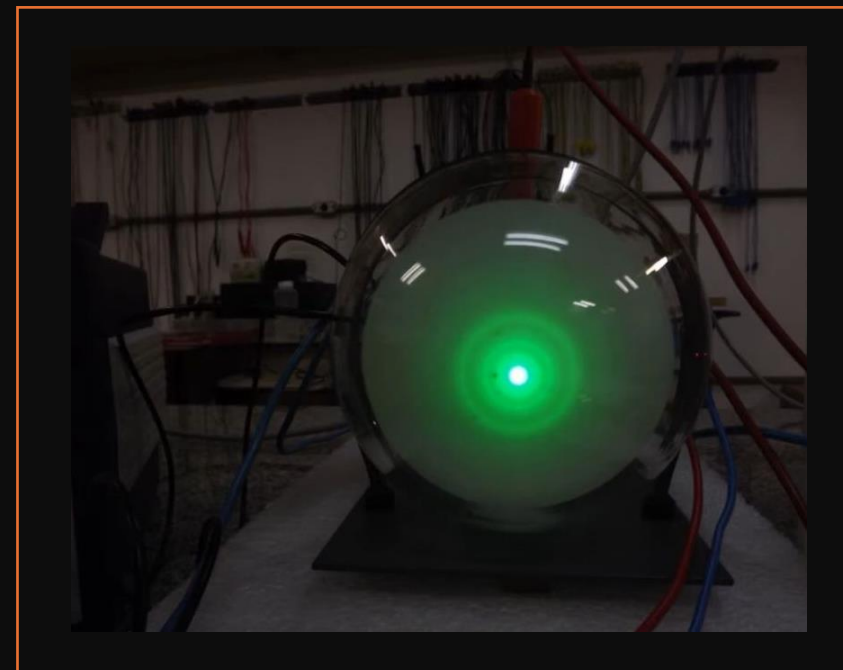
Em cima: difração de raios X



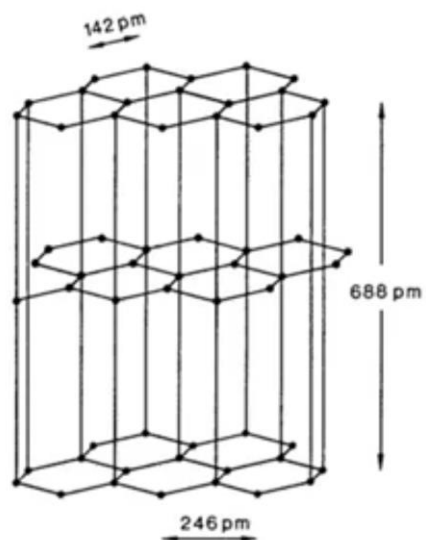
Embaixo: difração de elétrons

A semelhança mostra que os elétrons sofrem o mesmo tipo de difração que os raios X.

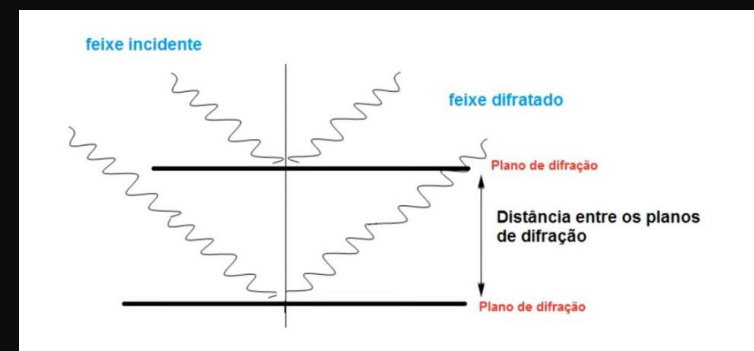
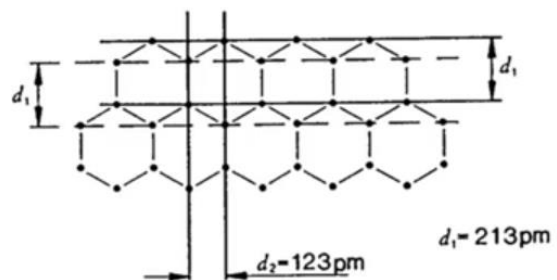
Experimento de difração de elétrons



Estrutura de um cristal de grafite



Planos de difração em um cristal de grafite



Algumas aplicações

Estrutura cristalina;

Parâmetros de rede;

Composição química;

Orientação em relação ao feixe de elétrons incidentes;

Orientação entre 2 ou mais monocristais;

Orientação cristalográfica de defeitos;

etc;

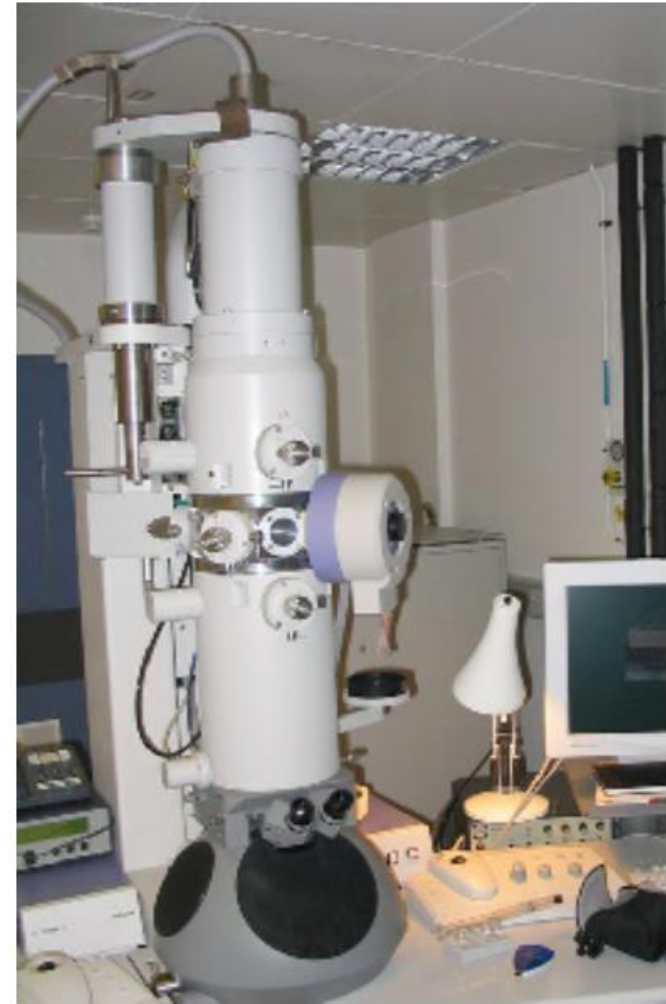
O microscópio eletrônico

Um feixe de elétrons pode ser usado para formar a imagem de um objeto de modo bastante parecido com a formação da imagem por um feixe luminoso.

A resolução de um microscópio é limitada pelos efeitos da difração. Usando comprimentos de onda em torno de $\lambda \sim 500$ nm (luz visível), um microscópio ótico não pode distinguir objetos com dimensões menores que algumas centenas de nanômetros, por melhor que seja a lente empregada.

A resolução de um microscópio eletrônico também é limitada pelos comprimentos de onda λ dos elétrons, mas esses λ podem ser milhares de vezes menores que o λ da luz visível.

Como resultado, a ampliação útil de um microscópio eletrônico pode ser milhares de vezes maior que a ampliação de um microscópio ótico.





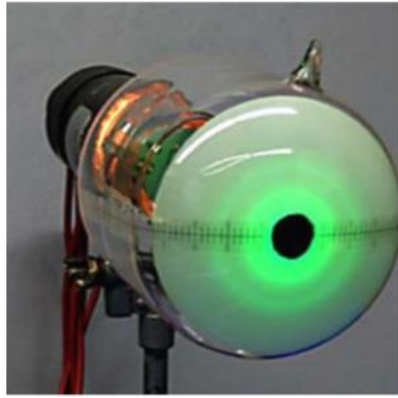
- https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/wave-interference

Bibliografia

- R. Eisberg e R. Resnick, *Física Quântica*, 8a. edição, Editora Campus.
- NUSSENZWEIG, H.M. Curso de Física Básica v. 4: Ótica, Relatividade e Física Quântica, São Paulo, Edgard Blücher, 1998;
- <https://www.if.ufrgs.br/tex/fisica-4/FIS4D/difracao.pdf>
- https://www.youtube.com/watch?v=W_Q47GlQp5Y
- <https://www.youtube.com/watch?v=XFtMQAQbkbQ&t=2s>

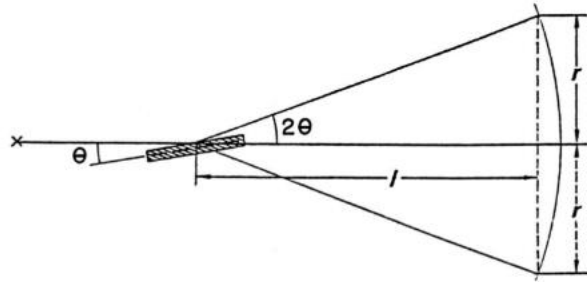
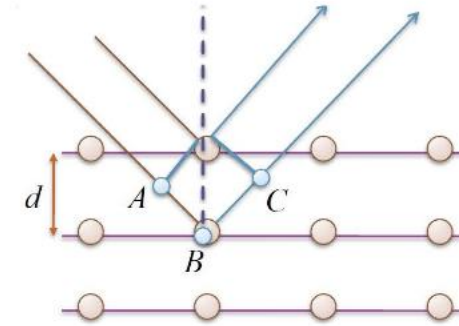
Banco de dados

- Explicação de Lei de Bragg, caso não fosse explicado pelo colega anterior



Propostas:

- Medição do comprimento de onda associada ao elétron;
- Calcular o valor da constante de Planck;



Lei de Bragg:

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

$$\text{Tg } 2 \theta = 2 \sin \theta = r/l$$

Portanto:

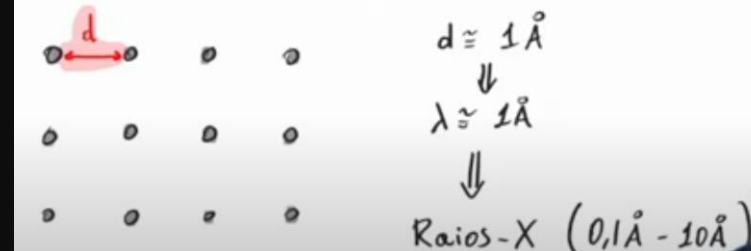
$$\lambda = rd/nl$$



Difração de raio x

- Embora a Lei de Bragg foi usada para explicar o padrão de interferência de raios-X espalhados por cristais, o fenômeno de difração tem sido desenvolvido para estudar a estrutura de todos os estados da matéria com diversos feixes, por exemplo, íons, elétrons, nêutrons e prótons, com um comprimento de onda da mesma ordem de grandeza da distância entre as estruturas atômicas ou moleculares de interesse.

- Estruturas de sólidos cristalinos podem ser investigadas por meio de difração de ondas eletromagnéticas.



Formulação de Bragg

