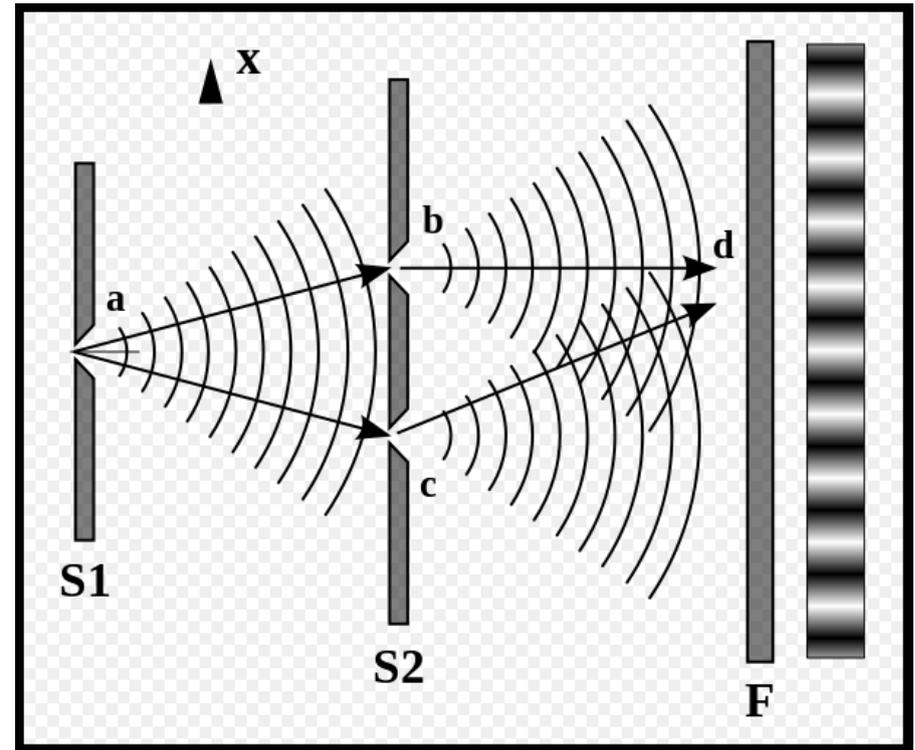


Ondas de Matéria.

1- A luz no final do século XIX era interpretada como sendo uma onda eletromagnética. Cite pelo menos uma experiência que dá sustentação a esta interpretação?

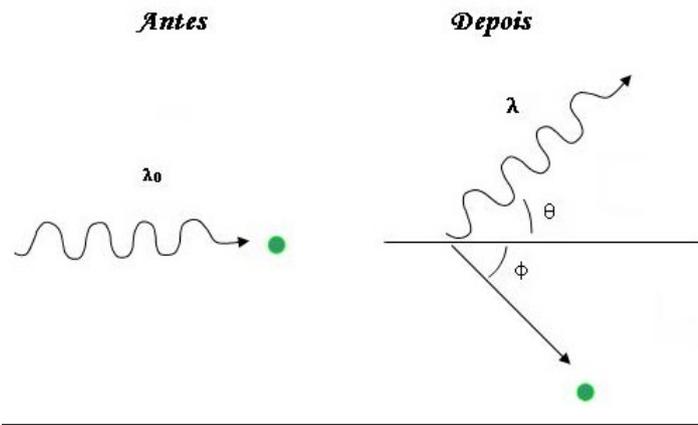
Em 1800 Thomas Young fez a célebre experiência de fendas dupla que demonstrava o caráter ondulatório da luz.



Ondas de Matéria.

2- Já no fim deste mesmo século, alguns experimentos produziam resultados cuja interpretação ondulatória para luz, já não era mais satisfatória para explicar os resultados obtidos no pleno. Cite pelo menos uma destas experiências? Qual a nova interpretação para a natureza da luz que surgiu?

O Efeito Compton foi observado por Arthur Holly Compton em 1923, e consiste no espalhamento de um fóton por uma partícula carregada, geralmente um elétron, que resulta em uma diminuição da energia (aumento do comprimento de onda) do fóton espalhado, tipicamente na faixa de raio-X ou de raio gama.



Há também o espalhamento Compton inverso, processo onde o fóton ganha energia pela interação com a matéria. A variação total no comprimento de onda, positivo ou negativo, é denominada variação Compton.

A nova interpretação é de que a luz era composta por partículas que carregavam momento linear e energia, e na sua interação com a matéria podia realizar colisões binárias!

Ondas de Matéria.

3 – Em síntese, qual o comportamento da luz que manifesta seu caráter ondulatório?
Sua capacidade em determinados experimentos de realizar processos de interferência.

4 - Em síntese, qual o comportamento da luz que manifesta seu caráter corpuscular ?
Sua capacidade de transferir momento linear via colisões.

5 – Como aceito hoje em dia, a luz tem um comportamento dual, hora se comportando como onda, hora como partícula. Quem notabilizou o pensamento de que: “ Já que a luz tem comportamento dual, partículas como o elétron poderiam apresentar um comportamento ondulatório”?

Em 1925 Louis de Broglie notou que uma partícula deve ter a ela associada um processo ondulatório de frequência.

Tal expectativa foi confirmada dois ano mais tarde no famoso experimento conduzido pelos físicos americanos Clinton Davisson e Lester Germer em 1927. O link abaixo relata em inglês o experimento:

Vídeo sobre o experimento pode ser visto no link abaixo:

https://www.youtube.com/watch?v=Ho7K27B_Uu8

Ondas de Matéria.

6 – Como é a expressão que dá ao fóton uma característica de partícula e envolve o comprimento de onda?

Resposta:

$$p = h/\lambda$$

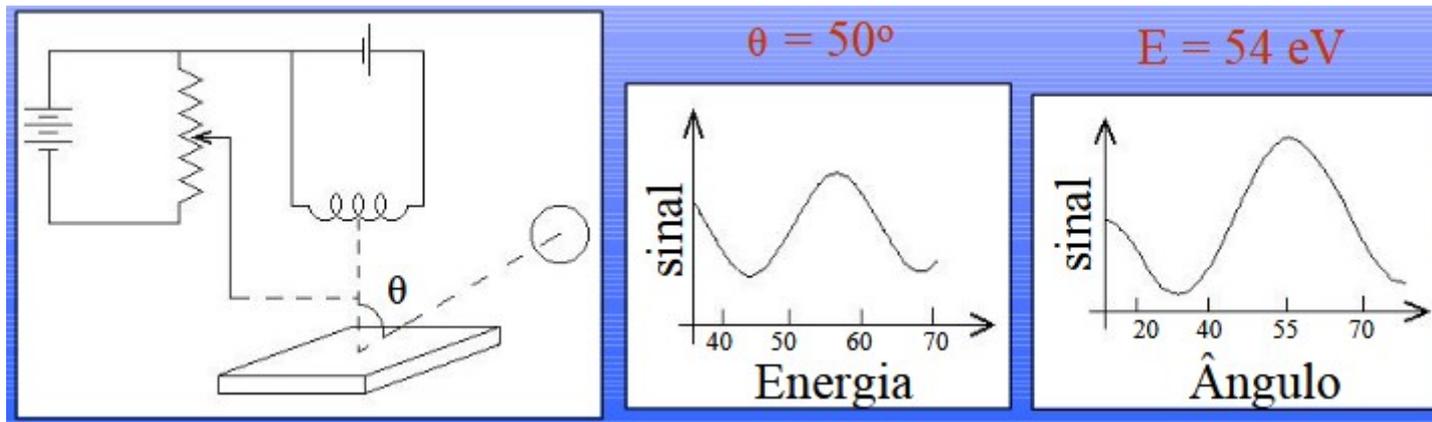
7- Qual a expressão que, reciprocamente, dá característica ondulatória a partículas como o elétron?

Em 1925 Louis de Broglie postulou que o comprimento de onda λ associado a uma partícula com momento linear p é dado pela relação:

$$\lambda = h/p$$

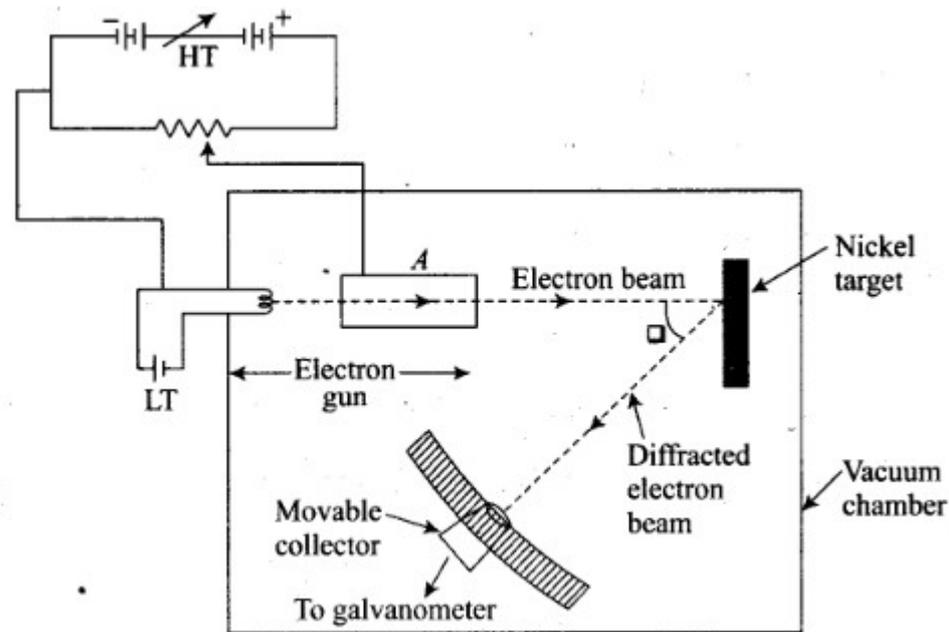
8- Descreva um experimento em que o caráter ondulatório dos elétrons foi manifesto.

Clinton Davisson e Lester Germer em 1927 – difração de um feixe de elétrons incidentes em um alvo de níquel

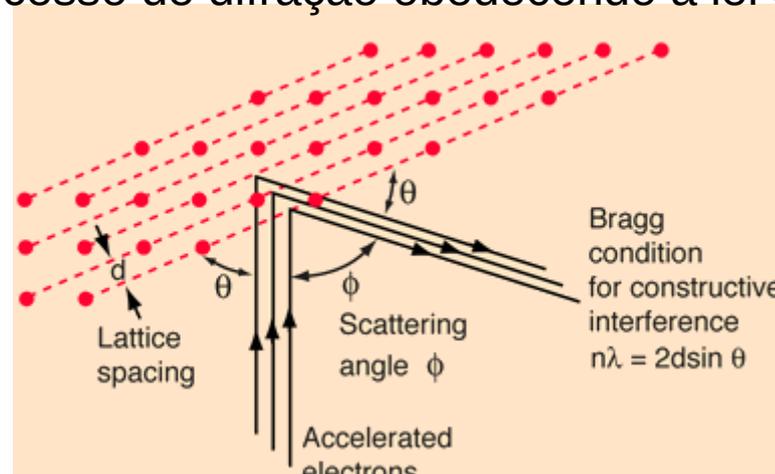


Ondas de Matéria.

Montagem do experimento de Davisson-Germer

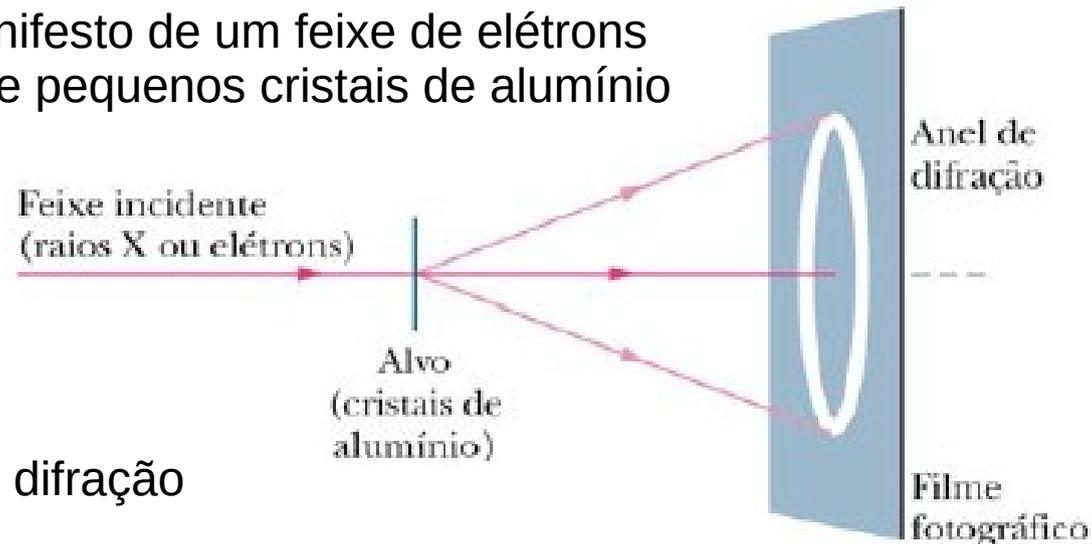


Interpretação do resultado como interferência devido a reflexão por planos cristalinos com separação d em um processo de difração obedecendo a lei de difração de Bragg.

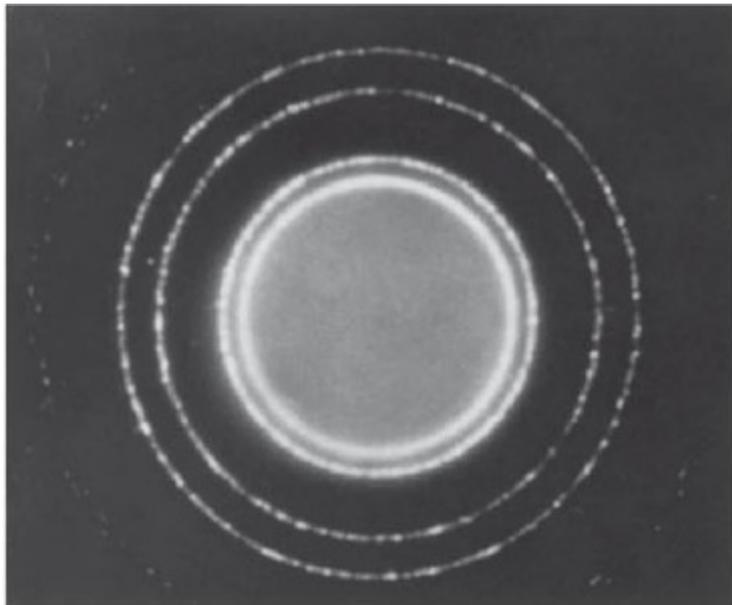


Ondas de Matéria

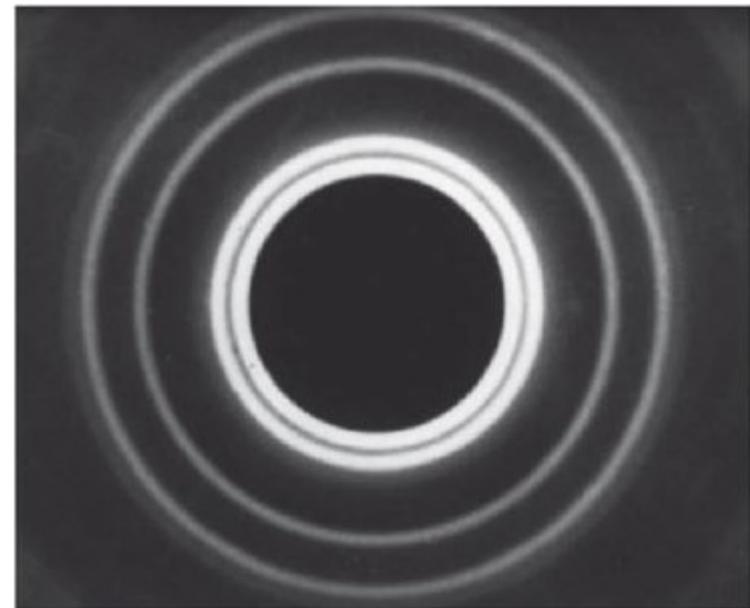
Outro experimento mostrando o caráter ondulatório manifesto de um feixe de elétrons difratando sobre pequenos cristais de alumínio



Figuras de difração



Feixe de Raios X



Feixe de elétrons

Ondas de Matéria.

9 – Considerando um elétron e um próton;

- a) com a mesma energia cinética,
- b) com o mesmo momento linear,
- c) com a mesma velocidade:

Qual das duas partículas teria o menor comprimento de onda *de Broglie*?

Respostas: o comprimento de onda de de Broglie é inversamente proporcional ao momento linear. Podemos raciocinar em termos clássico e fazer:

a) $p = \sqrt{2mK}$ portanto o do próton será menor.

b) Ambos terão o mesmo comprimento de onda.

c) $p = mv$ portanto o do próton será menor.

10- Qual o comprimento de onda de *de Broglie* de um elétron com energia cinética de 120 eV?

R: $K = 120 \text{ eV} = 120 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \Rightarrow p = \sqrt{2mk} = \sqrt{2 \times 9,11 \cdot 10^{-31} \times 1,92 \cdot 10^{-17}} = 5,91 \cdot 10^{-24} \text{ Kg m/s}$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{5,91 \cdot 10^{-24} \text{ Kg m/s}} = 1,12 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 112 \text{ pm}$$

Ondas de Matéria.

Equação de Schrödinger:

Vamos começar este assunto discutindo um pouco a segunda lei de Newton, pois como esta, a equação de Schrödinger tem a propriedade de descrever a natureza de uma entidade física sob determinadas condições.

1- Em relação a energia, o que representa a segunda lei de Newton?

Representa o princípio de conservação de energia, uma vez que poderia ser reescrita como:

$$F = \frac{d}{dt} p = \frac{d}{dt} (mv) \text{ multiplicando ambos os lados por } dx \text{ e integrando:}$$

$$\int F dx = \int \frac{d}{dt} (mv) dx = \int \frac{d}{dt} (mv) v dt = \int \frac{d}{dt} (1/2 m v^2) dt$$

$$W = \Delta K$$

Que é o famoso teorema Trabalho – energia.

Se a força deriva de um potencial (é conservativa!) teremos o teorema de conservação de energia

$$\Delta U + \Delta K = 0 \Rightarrow \Delta E = 0$$

Ondas de Matéria.

Equação de Schrödinger:

2- A aceleração pode ser obtida a partir da derivada segundo da posição. Desta forma a segunda lei de Newton produz uma equação de segunda ordem, onde em geral se conhece o campo de força. O que produz então a solução desta equação?

Resposta: A evolução temporal do sistema dinâmico
(posição e velocidade – Energia potencial e cinética)

3 – A equação de Erwin Schrödinger foi proposta em 1926 e rege o comportamento de ondas de matéria. Em termos matemático, o que é esta equação?

Resposta: Uma equação diferencial de segunda ordem na posição do sistema

4 – O que ela representa em termos de energia?

Representa o princípio de conservação de energia em termos da evolução da função de onda espacial $\psi(x,y,z)$ relacionando a energia mecânica total E e a energia potencial $U(x,y,z)$

Ondas de Matéria.

Equação de Schrödinger:

5- Qual é a expressão para esta equação?

Num caso mais geral, a equação de Schrödinger é uma equação de segunda ordem de derivadas parciais que envolve o tempo e as coordenadas espaciais. Neste curso trataremos da equação de Schrödinger unidimensional, que é dada por:

$$\frac{d^2}{dx^2} \psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2} [E - U(x)] \psi = 0$$

6- Usando a técnica de separação de variáveis, como se pode escrever a função de onda $\Psi(x,y,z,t)$?

Resposta: A função de onda é uma grandeza complexa que em sua expressão em modos normais, pode ser separada em duas, uma envolvendo coordenadas espaciais e outra com variações harmônicas no tempo, onde i representa o número imaginário puro e ω a frequência angular:

$$\Psi(x, y, z, t) = \psi(x, y, z) e^{-i\omega t}$$

Ondas de Matéria.

Equação de Schrödinger:

7- O que representa a amplitude da função de onda? Ou seja, qual é a interpretação física desta grandeza (a amplitude)?

Resposta: A função de onda é uma grandeza está associado a uma partícula submetida a um campo de potencial $U(x)$ e deve, por coerência, ter amplitude alta em regiões a posição onde está a partícula e pequena em regiões distantes à ela.

Em termos mais específico, **“a probabilidade de se encontrar a partícula em uma dada posição é proporcional ao quadrado da amplitude da função de onda”**

$\psi(x)^2$ é a densidade de probabilidade, enquanto $\psi(x)^2 dx$ é probabilidade de se encontrar a partícula na posição x e $x + dx$