

Ondas Materiales

(3-1, Eisberg - Resnick)

- ✓ En la tesis doctoral (1924), Louis de Broglie propuso la existencia de ondas materiales. (Matter Waves)
- ✓ Esta propuesta no fue reconocida por la comunidad científica en ese momento debido a la aparente falta de evidencia experimental.
- ✓ Cinco años después, de Broglie ganó el Premio Nobel de Física al ser su idea confirmada por experimentos.
- ✓ La hipótesis de de Broglie era que el comportamiento dual de la radiación electromagnética (comportamiento Onda-partícula) también se aplicaba a cualquier partícula material.
- ✓ Así como un fotón tiene una onda asociada que "gobierna" su movimiento, cualquier partícula material (como por ejemplo un electrón) tiene una onda (onda material) que gobierna su movimiento.
- ✓ Los aspectos ondulatorios de la materia (de las partículas materiales) están relacionados con sus aspectos corpusculares en exactamente la misma forma cuantitativa que para el caso de la radiación electromagnética. (Simetría de la naturaleza)
- ✓ De acuerdo a de Broglie, tanto para la materia como para la radiación, la energía total E de un ente (ya sea material o de radiación) está vinculada a la frecuencia ν de la onda que "gobierna" su movimiento a través de la ecuación

$$E = h\nu \quad (3-1a),$$

y el momento lineal p de la entidad está relacionado a la longitud de onda λ de su onda asociada por

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad (3-1b).$$

✓ Los conceptos de energía total E y momento lineal P de una partícula son conectados a través de la constante de Planck h a los conceptos de frecuencia ν y longitud de onda λ , respectivamente de la onda que "gobierna" a la partícula.

$$E = h\nu \quad (3-1a) \quad ; \quad P = \frac{h}{\lambda} \quad (3-1b) .$$

✓ La ecuación (3-1b) se escribe como

$$\lambda = \frac{h}{P} \quad (3-2)$$

y se llama relación de de Broglie.

✓ Esta ecuación significa que una partícula que tiene momento lineal P , tiene una onda asociada con longitud de onda λ .

✓ Es bueno recordar que en física clásica $P = \sqrt{2mK}$ donde K es la energía cinética de la partícula mientras que en relatividad especial $P = m v = \left(\frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \right) v$, donde m_0 es la masa en reposo de la partícula y v su velocidad.

3
✓ La longitud de onda de de Broglie $\lambda = \frac{h}{p}$ de una pelota de béisbol de $m = 1 \text{ kg}$ que se mueve con una rapidez $v = 10 \text{ m/s}$ es

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{6.6 \times 10^{-34} \text{ Joule-s}}{1.0 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}} = 6.6 \times 10^{-35} \text{ m} = 6.6 \times 10^{-25} \text{ \AA}$$

✓ Para un electrón que tiene una energía cinética de 100 eV

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mK}} = \frac{6.6 \times 10^{-34} \text{ J-s}}{(2 \times 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 100 \text{ eV} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV})^{1/2}}$$

$$\lambda = \frac{6.6 \times 10^{-34} \text{ J-s}}{5.4 \times 10^{-24} \text{ kg m/s}} = 1.2 \times 10^{-10} \text{ m} = 1.2 \text{ \AA}$$

✓ La naturaleza ondulatoria de la luz (radiación) no se manifiesta cuando la radiación pasa a través de un aparato cuya dimensión característica a es muy grande comparada con la longitud de onda λ de la luz (radiación). (Óptica geométrica).

✓ Por otro lado, cuando a es comparable o menor que λ ($\lambda/a \gtrsim 1$) los efectos de difracción pueden observarse fácilmente, manifestándose entonces la naturaleza ondulatoria de la luz (radiación).

✓ Para observar los aspectos ondulatorios del movimiento de partículas materiales, el aparato o sistema a través del que estas partículas deben pasar, tiene que tener una dimensión característica a comparable o menor a la longitud de onda de de Broglie λ de la onda asociada a cada partícula.

✓ Debido a la longitud de onda de de Broglie tan pequeña de una pelota de beisbol de 1 kg moviéndose a 10 m/s, no es posible observar la naturaleza ondulatoria de la pelota pues no hay aparato o sistema que tenga un dimension característica a comparable o menor que $\lambda \approx 10^{-25} \text{ \AA}$.

✓ Pero para una partícula como un electrón que tiene una masa muchísimo más pequeña que una pelota de beisbol y por lo tanto un p muy reducido, si es posible encontrar un sistema que tenga un $a \approx 1 \text{ \AA}$ (Cristales).
De esta forma, se observan los efectos ondulatorios del movimiento de un electrón.

$$\lambda = h/p$$

✓ Leer Sección 4.2 Experimental Evidence for de Broglie
(pags. 104 a 110) Waves

Krane, Modern Physics, pag. 104, 3rd edition

✓ Leer prob. Ejemplo 4.2, pag. 107, Krane.

✓ Adicional: leer Crystal Diffraction of X-Rays (Bragg's law)
Krane, pag. 73 a 75

✓ Hacer problema 32, Krane, Cap. 4