

## Dualidad onda-partícula 2 (para la materia)

1

- ✓ En analogía a la dualidad onda-partícula propuesta por Einstein para la radiación, Max Born propuso la dualidad onda-partícula para la materia.
- ✓ Además de asociar a una partícula (materia) una longitud de onda ( $\lambda = \frac{h}{p}$ ) y una frecuencia ( $\omega = \frac{E}{h}$ ), se introduce una función que representa a la onda propuesta por De Broglie a la que se llama función de onda.

- ✓ Para partículas moviéndose en la dirección del eje positivo  $x$  con un valor preciso de momento lineal  $p = \frac{h}{\lambda}$  y un valor preciso de energía  $E = h\omega$ , la función de onda asociada puede escribirse como

$$\Psi(x, t) = A \text{ Sen}(kx - \omega t), \text{ donde el número de onda } k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ y } \omega = 2\pi\omega.$$

- ✓ Lo anterior es análogo al campo eléctrico  $E(x, t) = E_0 \text{ Sen}(kx - \omega t)$  asociado a una onda electromagnética plana, moviéndose en la dirección  $x$ .

- ✓ El promedio en el tiempo de la función de onda al cuadrado  $\overline{\psi^2}$  se comporta de manera análoga a  $\overline{E^2}$  para ondas electromagnéticas.
- ✓  $\overline{\psi^2}$  es una medida de la probabilidad por unidad de volumen de encontrar a una partícula (materia) en un determinado punto del espacio en un tiempo dado.
- ✓ Así como el campo eléctrico  $\vec{E} = \vec{E}(x, y, z, t)$  es una función de  $x, y, z$  y  $t$ , la función de onda  $\psi = \psi(x, y, z, t)$  tiene dependencia en estas variables.
- ✓ Así como  $\vec{E}$  satisface una ecuación de onda electro magnética,  $\psi$  satisface una ecuación de onda material llamada "la ecuación de Schrödinger".
- ✓ Así como desde el punto de vista de Einstein de la radiación, no se especifica la posición exacta de fotón, sino que en su lugar se especifica  $\overline{E^2} \propto$  probabilidad de encontrar un fotón en cierta posición a un tiempo dado; así también, desde el punto de vista de Born de las ondas materiales, no se especifica la posición exacta de una partícula (materia) a un tiempo determinado sino que se especifica  $\overline{\psi^2} \propto$  probabilidad de encontrar a la partícula en cierta posición en un tiempo dado.

✓ Así como se cumple el principio de superposición para las ondas electromagnéticas

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n,$$

así también se pueden sumar las funciones de onda de  $n$  ondas materiales

$$\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 + \dots + \Psi_n,$$

con  $\overline{\Psi^2}$  siendo un indicador de la probabilidad de existencia de algo material en un punto del espacio a un tiempo dado.

✓ El principio de superposición se aplica tanto a la radiación como a la materia, tanto a ondas electromagnéticas como a ondas materiales, tanto a campos eléctricos como a funciones de onda.

✓ Esto concuerda con el sorprendente hecho experimental de que la materia tiene propiedades de interferencia y difracción, cosa que la física clásica no puede explicar.

✓ Dos ondas se pueden combinar y superponerse constructivamente o destructivamente. Dos partículas "clásicas" no se pueden combinar de modo que, por ejemplo, se cancelen.