

El experimento de la doble rendija

Nuestra historia comienza en 1801, cuando Thomas Young, médico de formación y también lingüista especialista en jeroglíficos egipcios, realizó su famoso experimento de la doble rendija. Este consistía en iluminar con un haz de luz una fina tira de cartón para observar el patrón de interferencias que se producía en la pantalla situada detrás.

La situación es idéntica a lo que sucede cuando las olas del mar se cuelan por dos aberturas no muy grandes y no demasiado separadas: cada rendija se convierte en foco de nuevas olas que interfieren con las de la otra rendija formando un característico patrón. Lo que se observa en la pantalla es una franja luminosa situada justo enfrente del punto que se encuentra a mitad de camino entre ambas rendijas, luego una zona de oscuridad a ambos lados, después otra de luz menos intensa, y así sucesivamente. Esto es el patrón de interferencia, una figura que sólo puede formarse si la luz se comporta como una onda. La conclusión obtenida de del experimento de Young es que la luz se comporta como una onda.

Aunque este resultado nos parezca obvio, los físicos se habían pasado todo el S.XVIII discutiendo entre dos teorías. La primera es la teoría corpuscular de Newton. Newton defendía que la luz estaba compuesta por partículas. Por otro lado, la teoría de Huygens afirma lo contrario, que la luz es una onda. El experimento de la doble rendija fue decisivo a la hora de inclinar la balanza hacia la teoría ondulatoria. Además, gracias las leyes de Maxwel sabemos que la luz es una onda de tipo electromagnético. Por lo tanto, a finales de S.XIX nadie dudaba de que la luz era una onda.

Sin embargo, llega el S.XX y con él la revolución cuántica. A principios de este siglo, tanto Max Plank para explicar la radiación del cuerpo negro y más tarde Einstein para explicar el efecto fotoeléctrico, necesitaron considerar que la luz se comporta como si estuviera formada por pequeños paquetes de energía, que conocemos hoy en día como fotones.

La compañía japonesa "Hamamatsu" realizó el experimento de la doble con fotones individuales en 1982 para probar un fotodetector que acaban de desarrollar. El resultado es asombroso y se muestra en el siguiente vídeo disponible en internet (<https://www.youtube.com/watch?v=I9Ab8BLW3kA>). En él se ve cómo van apareciendo puntos luminosos cada vez que un fotón impacta en el detector. Al principio la distribución de puntos en la pantalla parece aleatoria, pero pasado el tiempo se visualizan con claridad el patrón de interferencia característico de las ondas.

Por lo tanto, la pregunta que nace de este resultado es la siguiente: si la luz está compuesta por partículas y crea interferencias como una onda, ¿podrían las partículas crear interferencias como si fueran ondas? El siguiente paso era realizar este mismo experimento con electrones y posteriormente con átomos e incluso con moléculas, comprobando que todas estas partículas mostraban un comportamiento ondulatorio.

En realidad, experimentos muy similares ya habían sido realizados con partículas en 1927. Dos grupos demostraron de manera independiente las propiedades ondulatorias de haces de electrones al interactuar con la materia. Este descubrimiento les valió el Premio Nobel a Clinton Davisson y George Paget Thomson, quien, curiosamente, era hijo de Sir Joseph John Thomson. Es decir, el padre recibió el Nobel por demostrar que el electrón es una partícula, y el hijo, por demostrar que es una onda.

El primer experimento de la doble rendija con electrones lo realizó el físico alemán Claus Jönsson en 1961. Tapando una de las rendijas, veremos en la pantalla el patrón esperado de una partícula: una única "mancha" frente a la rendija abierta. Sin embargo, y esto es lo realmente extraño, si abrimos la segunda rendija lo que veremos aparecer en la pantalla es ¡el patrón de interferencias del experimento con la luz!

Este fenómeno únicamente puede explicarse si el electrón pasa por las dos rendijas a la vez, para posteriormente interferir consigo misma. Esto es debido a que los electrones se rigen por las leyes de la física cuántica. Por lo tanto, pueden estar en dos estados a la vez, lo que en este experimento se traduce

en pasar por las dos rendijas simultáneamente. En este caso, decimos que los electrones están en superposición cuántica.

El experimento de la doble rendija con electrones demuestra que las partículas pueden comportarse como ondas, pero ¿ondas de qué? En física cuántica hablamos de ondas de probabilidad.

El electrón o cualquier partícula con comportamiento cuántico lleva asociada una “función de onda” que se extiende en el espacio. Esta función de onda es más “intensa” en la región donde es más probable encontrar al electrón y se va debilitando a medida que nos alejamos de ella, pero no desaparece nunca. Así pues, la información que nos proporciona la función de onda es la probabilidad de encontrar al electrón en una región determinada del espacio. Por lo tanto, no podemos decir que una partícula está en una posición exacta, sólo podemos dar la probabilidad de encontrarla allí. De hecho, el principio de incertidumbre de Heisenberg nos indica que es imposible saber exactamente su posición y su velocidad al mismo tiempo.

¿Qué ocurre si ahora observamos por dónde pasa cada electrón? Al detectar el electrón, la función de onda “colapsa” y, en ese instante, sabemos con toda certeza dónde se encuentra. La partícula ya no está en superposición y recupera su comportamiento clásico. En este caso veremos que el patrón de interferencia desaparece para dar lugar a dos “manchas” que se corresponden con los electrones pasando por cada una de las rendijas. Estos experimentos también han sido llevados a la práctica, siempre confirmando que es imposible observar simultáneamente la naturaleza ondulatoria y corpuscular de la materia. Dicho de otro modo: si observamos por donde pasó la partícula, perdemos el patrón de interferencia. Si vemos el patrón de interferencia, nos será imposible saber por dónde pasó la partícula.

Este hecho está fuertemente ligado con el principio de incertidumbre de Heisenberg, uno de los principios fundacionales en física cuántica. Heisenberg demostró que no se puede determinar, simultáneamente y con precisión absoluta, ciertos pares de variables físicas, como son, por ejemplo, la posición y el momento de una partícula. El momento no es más que la masa multiplicado por la velocidad, que, recordemos indica la dirección en la cual se mueven los objetos. Es decir, si tratamos de saber con por qué rendija pasó la partícula, aumentamos la incertidumbre sobre hacia dónde fue. En el experimento de la doble rendija, esto se traduce en que conocer la rendija borra el patrón de interferencia.

Como curiosidad, en 2003 la revista *Physics World* preguntó a sus lectores cuál era en su opinión el experimento más bello de la historia de la física. Ganó el célebre experimento de la doble rendija, una prueba diseñada en 1801 para probar la naturaleza ondulatoria de la luz que no ha dejado de repetirse, en diversos formatos y con distintos objetivos, hasta la actualidad.