

Efecto cuántico de Zenón

La "timidez" en mecánica cuántica: cómo medir un sistema afecta a sus propiedades

Introducción

Imagina que tenemos una pelota cuántica, la cual puede encontrarse en dos cajas: una caja A y otra caja B. Supongamos que dicha pelota se encuentra en un estado tal que, cuando nadie está mirando, la pelota se encuentra de manera simultánea en ambas cajas: se encuentra en una superposición de estados. Imagina ahora que queremos observarla para ver en qué caja se encuentra y para ello abrimos una ventana. En cuanto abrimos dicha ventana, la superposición desaparece y la pelota "colapsa" a una de las dos cajas, adoptando una posición definida. Este tipo de fenómeno, corroborado experimentalmente ininidad de veces, da lugar a uno de los mayores quebraderos de cabeza de la física moderna: el llamado problema de la medida.

En física clásica, medir significa "revelar" propiedades que estaban en el sistema desde antes de que nada ni nadie lo midiera. Sin embargo, en mecánica cuántica, el proceso de medir altera de forma irrevocable la evolución del sistema. Intentar comprender qué significa esto y por qué existe esta diferencia entre la medición en sistemas clásicos y cuánticos ha dado lugar a muchas corrientes de pensamiento entre los propios físicos, con diversas interpretaciones. La más antigua consiste en la interpretación de Copenhague, según la cual, no tiene sentido hablar de propiedades ocultas o definitivas de un sistema cuántico antes de medirlo: la función de onda es simplemente una herramienta matemática que codifica las probabilidades de obtener distintos resultados. Cuando realizamos una medida, esa función de onda "colapsa" de forma instantánea a uno de los posibles valores del observable, y es ese acto de medir lo que realmente define el estado del sistema. La ruptura entre la evolución de la función de onda determinada por la ecuación de Schrödinger y el colapso introducido por la medida experimental es lo que a día de hoy sigue sin poner de acuerdo a muchos físicos.

Sin embargo, aunque no tengamos todavía una interpretación que satisfaga a todo el mundo, es un hecho constatable en el laboratorio. Un ejemplo lo constituye el llamado efecto cuántico de Zenón. Volvamos al ejemplo inicial de la pelota cuántica y sus dos cajas. Si en vez de dejar al sistema evolucionar y medir después, realizamos mediciones de manera muy frecuente, podemos "congelar" la pelota en una de las dos cajas, sin dejar que evolucione o "salte" a la otra, por mucho que de acuerdo con su función de onda tenga una probabilidad no nula de encontrarse en la otra caja. Este fenómeno viene nombrado por el filósofo griego de Zenón de Elea, famoso por sus paradojas del movimiento. Especialmente, la paradoja del arco y de la flecha. En esa paradoja, Zenón argumentaba que, si miramos instante por instante una flecha en vuelo, en cada uno parece estática, lo que sugeriría que nunca se mueve. De manera análoga, en el efecto cuántico de Zenón, las mediciones sucesivas actúan como instantes que impiden al sistema evolucionar: cuanto más frecuentemente se comprueba su estado, más se "congela" en su configuración inicial.

Historia

En 1977, George Sudarshan y Baidyanath Misra, investigadores de la universidad de Texas, publicaron un artículo donde se acuñaba por primera vez el término o concepto de efecto cuántico de Zenón. En este artículo demostraron que si se aplicaban medidas lo suficientemente frecuentes a un sistema cuántico ideal, se podía congelar la evolución de su estado, colapsando continuamente su función de onda. Esto sería puesto a prueba y demostrado en el laboratorio en 1990 por el grupo de D. J. Wineland, en Colorado, observando cómo el hecho de aplicar medidas de forma frecuente en átomos de berilio atrapados, se suprimía una transición entre niveles de energía que se producía de manera natural si nadie realizaba ninguna medida.

Explicación

La explicación formal es algo técnica y requiere de haber cursado alguna materia de mecánica cuántica, pero intentemos dar una explicación de todos modos. El estado de un sistema cuántico viene descrito por una función de onda que se suele denotar con la letra griega ψ . La evolución con el tiempo de dicha función de onda en un sistema ideal viene dada por la ecuación de Schrödinger:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = H\psi$$

donde $i\hbar$ es la unidad imaginaria, \hbar la constante reducida de Planck (la constante dividida por 2π) y H es un objeto matemático que describe las propiedades generales del sistema conocido como Hamiltoniano. El Hamiltoniano define qué estados son posibles para el sistema. Resulta que cada vez que realizamos una medida, el estado del sistema se "reinicia": colapsamos su función de onda a un estado inicial y la evolución temporal comienza de nuevo. Por lo tanto, si estas medidas se realizan lo suficientemente rápido, el sistema no será capaz de evolucionar del estado inicial. La frecuencia a la que se tienen que realizar estas medidas para congelar el sistema viene determinada por las propiedades del sistema, es decir, por las propiedades matemáticas del Hamiltoniano que lo define. Si dicho Hamiltoniano hace que la evolución natural del sistema sea muy rápida hacia otros estados, puede que sea prácticamente imposible realizar las medidas a la frecuencia necesaria (cuesta más tiempo realizar una medida que al sistema evolucionar a otro estado).

Por último, acerca del bonus track del póster, ¿qué tiene que ver una cacerola con agua hirviendo con todo esto? Se trata de un ejemplo sencillo que puede servir para imaginar y entender mejor todo esto. Cuando vas a cocerte unos macarrones y pones el agua a hervir, ¿a que parece que nunca llega a entrar en ebullición si constantemente estás levantando la tapa de la cacerola para ver si hierve? En este caso, cada vez que levantas la tapa, se escapa el vapor y con él la presión que hace que el agua hierva antes. Aunque es una fenomenología completamente diferente, es un ejemplo que nos ayuda a visualizar lo que ocurre.

¿Y esto para qué sirve?

Una de las principales aplicaciones en las que se explota este efecto consiste en la preservación de la información en sistemas cuánticos. En otras palabras, supongamos que tenemos un dispositivo cuántico como un ordenador cuántico o un sensor. Como cualquier otro sistema que interactúa con su medio, la información o propiedades de estos dispositivos se pierden con el tiempo si uno no hace nada (de la misma manera que la taza de café se enfría conforme va interactuando con el aire que le rodea). En este sentido, existen varias propuestas que exploran usar esquemas de medición frecuente para evitar que el estado del sistema se "disipe". De manera similar, también se propone usar este tipo de esquemas para "guiar" al sistema a llegar a un estado concreto y que permanezca allí. Por otra parte, este tipo de experimentos nos permiten seguir indagando en la naturaleza y tratar de comprender mejor conceptos que, especialmente en mecánica cuántica, siguen siendo muy extraños para todos.