

PF011 - Entrelazamiento Cuántico. Las Mates

Bienvenidos a Píldoras de Física, el podcast de física de los que no tenemos tiempo para la física

Soy Max Álvarez, es 3 de Julio de 2021 y hoy hablaremos de... las matemáticas del entrelazamiento cuántico

Mucho antes de que fueran posibles los primeros experimentos para verificar la existencia real del entrelazamiento, en 1935 Einstein, Podolski y Rose estudiaron las implicaciones de ciertas características de los fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica. Concluyeron que la MC es una descripción incompleta de la realidad: violaría los principios de separabilidad y localidad. Recordemos que la Relatividad especial y general se fundamentan en que ninguna interacción puede viajar a velocidad mayor que la de la luz. No existe la influencia instantánea.

¿Cual es esta matemática? La MC se asienta sobre el llamado espacio vectorial de Hilbert. Lo podemos ver como una generalización del algo que nos es familiar, el espacio vectorial euclídeo. Recordemos: cada punto del espacio está asociado a un vector con tres coordenadas, que se expresan respecto una base de referencia. Mediante matrices de transformación aplicadas a un vector, podemos trasladarlo, rotarlo, escalarlo... Pues bien, en un espacio de Hilbert, las bases del espacio vectorial son funciones matemáticas, no números reales. Un vector del EH es una función que se expresa como una combinación lineal de la base de referencia, con coeficientes de peso que son números complejos.

Un estado cuántico se representa como un vector que es combinación lineal de los estados base. Por ejemplo, el estado de la moneda cuántica de mi amigo Charlie, antes de que caiga en la mesa, se describe como la suma del estado "CARA" multiplicado por un cierto coeficiente y del estado "CRUZ" multiplicado por otro cierto coeficiente. Estos coeficientes representan la probabilidad de que la moneda resulte en estado "CARA" o que resulte en estado "CRUZ" en el momento de la medición y por tanto la suma de los productos de cada uno por su complejo conjugado debe ser la unidad.

Pero ¿cómo se representa un sistema formado por más de un elemento? El espacio de estados de un sistema combinado es el producto tensorial de los espacios de sus componentes.

Por ejemplo, el espacio de estados del sistema de dos monedas cuánticas de Beatriz y Alberto es de cuatro dimensiones. Su base natural son cuatro vectores de estado que podemos etiquetar como $|CC\rangle$, $|CZ\rangle$, $|ZC\rangle$ y $|ZZ\rangle$ (cara-cara, cara-cruz, cruz-cara y cruz-cruz). La descripción del estado más general del sistema es una combinación lineal de estos cuatro estados con cuatro coeficientes complejos.

Pues bien, ciertas combinaciones lineales representan estados en los que el comportamiento de las monedas cuánticas de Alberto y Beatriz son completamente independientes, es decir, no están correlados. Esto produce un comportamiento estadístico clásico al realizar un experimento con muchas medidas.

Pero hay, y esto es lo interesante, combinaciones lineales que representan estados en las monedas cuánticas están correladas. Estos son los estados de máximo entrelazamiento, llamados "estados de singlete"

Por ejemplo, la combinación lineal de monedas de Alberto y Beatriz ($|CZ\rangle - |ZC\rangle$) con coeficiente $(1/\text{SQRT}(2))$ es un estado de máximo entrelazamiento.

Por supuesto, el comportamiento estadístico al realizar un experimento con muchas medidas será diferente del comportamiento de partículas no entrelazadas

Terminemos recordando a John Bell que en 1964 produjo un teorema que pronostica que cualquier teoría que utilice variables ocultas para justificar el entrelazamiento cuántico, produciría un resultado estadístico diferente del predicho por la teoría cuántica. La realidad es que los resultados experimentales dan la razón consistentemente a la teoría cuántica. Einstein, Podolsky y Rosen no tenían razón.

Hasta aquí la Píldora de hoy... y recuerden, las matemáticas predijeron que se puede conocer todo lo que posible conocer de un sistema combinado y nada sobre cada componente individual. 60 años después los experimentos lo han confirmado.

Gracias por escuchar Píldoras de Física, el podcast de física de los que no tenemos tiempo para la física...