



La teoria cuantica necesita numeros complejos

Un equipo internacional de investigadores del ICFO, la Universidad de Ginebra y el Instituto de Tecnologia de Schaffhausen, la Universidad de Tecnologia de Viena y el IQOQI de la Academia de Ciencias de Austria, muestra a traves de un experimento teorico concreto que la prediccion de la teoria cuantica compleja estandar no puede expresarse por su contraparte real y ratifica su necesidad de numeros complejos.

December 15, 2021

La fisica elabora teorias para describir la naturaleza. Para entenderlo mejor, lo explicamos mediante una analogia con algo que podriamos hacer mucho, como ir de excursion por la montana. Para evitar perdernos, generalmente usamos un mapa. El mapa es una representacion de la montana, con sus casas, rios, senderos, etc. Al usarlo, es bastante facil encontrar el camino hacia la cima. Pero el mapa no es la montana. Constituye la teoria que usamos para representar la realidad de la montana.

Las teorías sobre la física se expresan en términos de objetos matemáticos, como ecuaciones, integrales o derivadas. Durante la historia, las teorías sobre la física han ido evolucionando, haciendo uso de conceptos matemáticos más elaborados para describir fenómenos físicos más complicados. Introducida a principios del siglo XX para representar el mundo microscópico, el surgimiento de la teoría cuántica fue un punto de inflexión en el campo. Entre todos los cambios drásticos que acarreo, fue la primera teoría formulada en términos de números complejos.

Los números complejos fueron creados por matemáticos hace siglos, y están constituidos por una parte real y una imaginaria. Fue Descartes, el célebre filósofo considerado el padre de las ciencias racionales, quien acuñó el término i para poder contrastarlo de manera rotunda con lo que él llamó números reales. A pesar de su papel fundamental en las matemáticas, no se esperaba que los números complejos tuvieran un papel similar en la física debido a esta parte imaginaria. De hecho, antes de la teoría cuántica, la mecánica de Newton o el electromagnetismo de Maxwell usaban números reales para describir fenómenos como el movimiento de objetos, o como se propagan los campos electromagnéticos. En este caso, las teorías ocasionalmente emplean números complejos para simplificar algunos cálculos, pero sus axiomas solo utilizan números

El desconcierto de Schrodinger

La teoría cuántica logró desafiar radicalmente el campo debido a que sus postulados estaban contruidos en términos de números complejos. La nueva teoría, aunque muy útil para predecir los resultados de los experimentos como, por ejemplo, una perfecta explicación de los niveles de energía del átomo de hidrógeno, iba en contra de la intuición que favorecía a los números reales. Buscando una descripción para los electrones, Schrodinger fue el primero en introducir números complejos en la teoría cuántica a través de su famosa ecuación. Sin embargo, no podía concebir que los números complejos pudieran ser realmente necesarios en física a ese nivel fundamental. Era como si hubiera encontrado un mapa para representar las montañas, pero este mapa en realidad estaba creado con dibujos abstractos y totalmente anti intuitivos. Tal fue su desconcierto que escribió una carta a Lorentz el 6 de junio de 1926, en la que decía: i Lo que es desagradable aquí, y de hecho, hay que objetar de manera directa, es el uso de números complejos. ¿es sin duda fundamentalmente una función real? Decadas después, en 1960, el profesor E.C. Stueckelberg, de la Universidad de Ginebra, demostró que todas las predicciones de la teoría cuántica para experimentos de partículas individuales podrían derivarse igualmente utilizando solo números reales. Desde entonces, el consenso fue que los números complejos en la teoría cuántica eran solo una herramienta conveniente

Sin embargo, en un estudio recientemente publicado en [Nature](#), los investigadores del [ICFO](#) **Marc-Olivier Renou** y el **Prof. ICREA en ICFO Antonio Acin**, en colaboración con el **Prof. Nicolas Gisin** de la [Universidad de Ginebra](#) y el [Instituto de Tecnología Schaffhausen](#), **Armin Tavakoli** de la [Universidad de Tecnología de Viena](#), y **David Trillo, Mirjam Weilenmann y Tinh P. Le**, dirigidos por el profesor **Miguel Navascues**, del [Instituto de Óptica Cuántica e Información Cuántica \(IQOQI\) de la Academia Austriaca de Ciencias](#) en Viena, han demostrado que, si los postulados cuánticos se expresan en términos de números reales en lugar de números complejos, entonces algunas predicciones sobre las redes cuánticas diferirían de manera necesaria. De hecho, el equipo de investigadores presentó una propuesta experimental concreta, en la cual incluía a tres partes conectadas entre sí y dos fuentes de partículas, donde la predicción de la teoría cuántica compleja estándar no puede ser expresada por su contraparte real.

Dos fuentes y tres nodos

Para conseguirlo, idearon un escenario muy específico de una red cuántica elemental que incluía dos fuentes independientes (S y R), colocadas entre tres nodos de medición (A, B y C). La fuente S emite dos partículas, digamos fotones, uno a A y el segundo a B. Los dos fotones se preparan en un estado entrelazado, como por ejemplo en polarización. Es decir, correlacionaron o prepararon la polarización de las partículas de una manera que está permitida por la teoría cuántica (tanto compleja como real), pero no por la teoría clásica. La fuente R hace exactamente lo mismo, emite otros dos fotones preparados en un estado entrelazado y los envía a B y C, respectivamente. El punto clave de este estudio fue encontrar la forma adecuada de medir estos cuatro fotones en los nodos A, B, C para obtener predicciones que no se pueden explicar cuando la teoría cuántica se restringe únicamente a los números reales.

Como comenta el investigador del ICFO **Marc-Olivier Renou**, ¡½Cuando encontramos este resultado, el desafío era ver si el experimento que habíamos ideado podía realizarse con las tecnologías actuales. Después de discutir con colegas de Shenzhen-China, encontramos una manera de adaptar nuestro protocolo para hacerlo factible con sus dispositivos de última generación. Y, como era de esperar, ¡los resultados experimentales coinciden con las predicciones!¡½. Este importante experimento, realizado en colaboración con Zheng-Da L, Ya-Li Mao, Hu Chen, Lixin Feng, Sheng-Jun Yang, Jingyun Fan de la Universidad de Ciencia y Tecnología del Sur, y Zizhu Wang de la Universidad de Ciencia y Tecnología Electrónica se publicó, en *Physical Review Letters*, en paralelo al artículo de *Nature*

Los resultados publicados en *Nature* pueden verse como una generalización del teorema de Bell, que proporciona un experimento cuántico que no puede ser explicado por ning

n formalismo local cuantico. El experimento de Bell involucra una fuente cuantica S que emite dos fotones entrelazados, uno a A y el segundo a B, preparados en un estado entrelazado. Aquí, por el contrario, se necesitan dos fuentes independientes, y esa independencia asumida es crucial y por la cual se diseñó el experimento de manera cuidadosa.

El estudio también muestra cuán excelentes pueden ser las predicciones cuando se combina el concepto de una red cuántica con las ideas de Bell. Sin duda, las herramientas desarrolladas y utilizadas para obtener este primer resultado son tales que permitirán a los físicos lograr una mejor comprensión de la teoría cuántica, y un día desencadenarán la realización y materialización de aplicaciones hasta ahora impensables para el Internet cuántico.

#

Referencia: [Quantum theory based on real numbers can be experimentally falsified](#), Marc-Olivier Renou, David Trillo, Mirjam Weilenmann, Le Phuc Thinh, Armin Tavakoli, Nicolas Gisin, Antonio Acín, and Miguel Navascués, 2021, Nature, doi: [10.1038/s41586-021-04160-4](https://doi.org/10.1038/s41586-021-04160-4)



Artistic illustration of the study published in Nature.
Image credit: Georgy Ermakov and Sergey Lebedyanskiy, SIT.