

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 teorias sobre la fisica se expresan en terminos de objetos matematicos, como ecuaciones, integrales o derivadas. Durante la historia, las teorias sobre la fisica han ido evolucionando, haciendo uso de conceptos matematicos mas elaborados para describir fenomenos fisicos mas complicados. Introducida a principios del siglo XX para representar el mundo microscopico, el surgimiento de la teoria cuantica fue un punto de inflexion en el campo. Entre todos los cambios drasticos que acarreo, fue la primera teoria formulada en terminos de numeros complejos.

Los numeros complejos fueron creados por matematicos hace siglos, y estan constituidos por una parte real y una imaginaria. Fue Descartes, el celebre filosofo considerado el padre de las ciencias racionales, quien acuno el termino i¿½imaginarioi¿½, para poder contrast rlo de manera rotunda con lo que el llamo numeros i¿½realesi¿½. A pesar de u papel fundamental en las matematicas, no se esperaba que los numeros complejos tuv eran un papel similar en la fisica debido a esta parte imaginaria. De hecho, antes de la teoria c antica, la mecanica de Newton o el electromagnetismo de Maxwell usaban numeros rea es para describir fenomenos como el movimiento de objetos, o como se propagan lo campos electromagneticos. En este caso, las teorias ocasionalmente emplean numeros c mplejos para simplificar algunos calculos, pero sus axiomas solo utilizan numeros

El desconcierto de Schrodinger

La teoria cuantica logro desafiar radicalmente el campo debido a que sus postulados estaban construidos en terminos de numeros complejos. La nueva teoria, aunque muy util para predecir los resultados de los experimentos como, por ejemplo, una perfecta explicacion de los niveles de energia del atomo de hidrogeno, iba en contra de la intuicion que favorecia a los numeros reales. Buscando una descripcion para los electrones, Schrodinger fue el primero en introducir numeros complejos en la teoria cuantica a traves de su famosa ecuacion. Sin embargo, no podia concebir que los numeros complejos pudieran ser realmente necesarios en fisica a ese nivel fundamental. Era como si hubiera encontrado un mapa para representar las montanas, pero este mapa en realidad estaba creado con dibujos abstractos y totalmente anti intuitivos. Tal fue su desconcierto que escribio una carta a Lorentz el 6 de junio de 1926, en la que decia: i¿½Lo que es desagradable aqui, y de hecho, hay que objetar de manera directa, es el uso de numeros complejos. ? es sin duda fundamentalmente una funcion reali¿½. Decadas despues, en 1960, el profesor E.C. . Stueckelberg, de la Universidad de Ginebra, demostro que todas las predicciones de la teor a cuantica para experimentos de particulas individuales podrian derivarse igualmen e utilizando solo numeros reales. Desde entonces, el consenso fue que los numeros complej s en la teoria cuantica eran solo una herramienta convenient

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 colaboracion con el **Prof. Nicolas Gisin** de la Universidad de Ginebra y el Instituto de Tecnologia Schaffhausen, **Armin Tavakoli** de la Universidad de Tecnologia de Viena, y **David Trillo**, **Mirjam Weilenmann y Thinh P. Le**, dirigidos por el profesor **Miguel Navascues**, del Instituto de Optica Cuantica e Informacion Cuantica (IQOQI) de la Academia Austriaca de Ciencias en Viena, han demostrado que, si los postulados cuanticos se expresan en terminos de numeros reales en lugar de numeros complejos, entonces algunas predicciones sobre las redes cuanticas diferirian de manera necesaria. De hecho, el equipo de investigadores presento una propuesta experimental concreta, en la cual incluia a tres partes conectadas entre si y dos fuentes de particulas, donde la prediccion de la teoria cuantica compleja estandar no puede ser expresada por su contraparte real.

Dos fuentes y tres nodos

Para conseguirlo, idearon un escenario muy especifico de una red cuantica elemental que incluia dos fuentes independientes (S y R), colocadas entre tres nodos de medicion (A, B y C). La fuente S emite dos particulas, digamos fotones, uno a A y el segundo a B. Los dos fotones se preparan en un estado entrelazado, como por ejemplo en polarizacion. Es decir, correlacionaron o prepararon la polarizacion de las particulas de una manera que esta permitida por la teoria cuantica (tanto compleja como real), pero no por la teoria clasica. La fuente R hace exactamente lo mismo, emite otros dos fotones preparados en un estado entrelazado y los envia 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 teoria cuantica se restringe unicamente a los numeros reales.

Como comenta el investigador del ICFO **Marc-Olivier Renou**, i¿½Cuando encontramos este resultado, el desafio era ver si el experimento que habiamos ideado podia realizarse con las tecnologias actuales. Despues de discutir con colegas de Shenzhen-China, encontramos una manera de adaptar nuestro protocolo para hacerlo factible con sus dispositivos de ultima generacion. Y, como era de esperar, ¡los resultados experimentales coinciden con la predicciones!i¿½. Este importante experimento, realizado en colaboracion con Zheng-Da L , Ya-Li Mao, Hu Chen, Lixin Feng, Sheng-Jun Yang, Jingyun Fan de la Universidad de Ciencia y Tecnologia del Sur, y Zizhu Wang de la Universidad de Ciencia y Tecnologia Electronica se a publicado, en Physical Review Letters, en paralelo al articulo de Natur

Los resultados publicados en Nature pueden verse como una generalizacion del teorema e Bell, que proporciona un experimento cuantico que no puede ser explicado por ning

n formalismo local cuantico. El experimento de Bell involucra una fuente cuantica S que emi e dos fotones entrelazados, uno a A y el segundo a B, preparados en un estado entrelazad . Aqui, por el contrario, se necesitan dos fuentes independientes, y esa independenc a asumida es crucial y por la cual se diseno el experimento de manera cuidados

El estudio tambien muestra cuan excelentes pueden ser las predicciones cuando se combi a el concepto de una red cuantica con las ideas de Bell. Sin duda, las herramient s desarrolladas y utilizadas para obtener este primer resultado son tales que permitiran a l s fisicos lograr una mejor comprension de la teoria cuantica, y un dia desencadenaran a realizacion y materializacion de aplicaciones hasta ahora impensables para el Intern t cuantic

#

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 Acin, and Miguel Navascues, 2021, Nature, doi: 10.1038/s41586-021-04160-4



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