

La teoria quantica necessita nombres complexos

Un equip internacional d'investigadors de l'ICFO, la Universitat de Ginebra i l'Institut de Tecnologia de Schaffhausen, la Universitat de Tecnologia de Viena i l'IQOQI de l'Academia de Ciencies d'Austria, mostra mitjancant un experiment teoric que la prediccio de la teoria quantica complexa estandard no es pot expressar per la seva contrapart real, i ratifica la seva necessitat de nombres complexos.

December 15, 2021

La fisica elabora teories per descriure la naturalesa. Per entendre-ho millor, ho expliquem mitjancant una analogia amb una activitat molt mes propera com, per exemple, anar d'excursio a la muntanya. Per no perdre'ns, podem utilitzar un mapa. El mapa es una representacio de la muntanya, amb cases, rius, camins i senders, etc. En fer-lo servir, es mes facil trobar el cami cap al cim. Pero el mapa no es pas la muntanya. Constitueix la teoria que fem servir per representar la realitat de la muntanya.

Les teories sobre la fisica s'expressen en termes d'objectes matematics, com ara equacions, integrals o derivades. Al llarg de la historia, les teories sobre la fisica han anat evolucionant fent us de conceptes matematics mes elaborats per descriure fenomens fisics mes complicats. Introduida a principis del segle XX per representar el mon microscopic, el sorgiment de la teoria quantica va ser un punt d'inflexio. Entre tots els canvis drastics que va comportar, va ser la primera teoria formulada amb nombres complexos.

Els nombres complexos van ser creats pels matematics fa segles i estan constituits per una part real i una imaginaria. Va ser Descartes, el celebre filosof considerat pare de les ciencies racionals, qui va encunyar el terme i¿½imaginarii¿½, per poder-lo contrastar de ma era rotunda amb allo que ell va anomenar nombres i¿½realsi¿½. Tot i el seu paper fonamen al dins les matematiques, no s'esperava que els nombres complexos tinguessin un paper simi ar a la fisica a causa d'aquesta part imaginaria. De fet, abans de la teoria quantica, la mec nica de Newton o l'electromagnetisme de Maxwell utilitzaven nombres reals per descriure enomens com el moviment d'objectes, o com es propaguen els camps electromagnetics. E aquest cas, les teories ocasionalment utilitzen nombres complexos per simplificar alguns alculs, pero els seus axiomes nomes fan servir nombre

El desconcert de Schrodinger

La teoria quantica va plantejar un desafiament pel fet que els seus postulats estaven construits amb nombres complexos. La nova teoria, encara que molt util per predir els resultats dels experiments com, per exemple, una explicacio perfecta dels nivells d'energia de l'atom d'hidrogen, anava en contra de la intuicio que afavoria els nombres reals. Buscant una descripcio per als electrons, Schrodinger va ser el primer a introduir nombres complexos en la teoria quantica a traves de la seva famosa equacio. No obstant aixo, no podia concebre que els nombres complexos poguessin ser realment necessaris en fisica a aquest nivell fonamental. Era com si hagues trobat un mapa per representar les muntanyes, pero aquest mapa en realitat estava fet amb dibuixos abstractes i totalment antiintuitius. El seu desconcert va ser tal que va escriure una carta a Lorentz el 6 de juny de 1926, on deia: i¿½El que es desagradable aqui, i que de fet cal objectar de manera directa, es l'us de nombres complexos. ? es, sens dubte, fonamentalment una funcio reali¿½. Decades despres, l'a y 1960, el professor E.C.G. Stueckelberg, de la Universitat de Ginebra, va demostrar que tot s les prediccions de la teoria quantica per a experiments de particules individuals podri n derivar-se igualment utilitzant nomes nombres reals. Des de llavors, el consens va ser que e s nombres complexos en la teoria quantica eren nomes una eina convenien

Tot i aixo, en un estudi recentment publicat a Nature, els investigadors de l'ICFO **Marc-Olivier Renou** i el **Prof. ICREA Antonio Acin**, en col·laboracio amb el **Prof. Nicolas Gisin** de la

Universitat de Ginebra i l'Institut de Tecnologia Schaffhausen, **Armin Tavakoli** de la Universitat de Tecnologia de Viena, i **David Trillo, Mirjam Weilenmann i Thinh P. Le**, dirigits pel professor **Miguel Navascues**, de l'Institut d'Optica Quantica i Informacio Quantica (IQOQI) de l'Academia Austriaca de Ciencies a Viena, han demostrat que, si els postulats quantics s'expressen amb nombres reals en lloc de nombres complexos, algunes prediccions sobre les xarxes quantiques difereixen necessariament. De fet, l'equip d'investigadors presenta una proposta experimental concreta, on s'inclouen tres parts o nodes connectats entre si i dues fonts de particules, on la prediccio de la teoria quantica complexa estandard no pot ser expressada per la seva contrapart real.

Dues fonts i tres nodes

Per poder duu a terme l'experiment, van idear un escenari molt especific d'una xarxa quantica elemental, que incloia dues fonts independents (S i R) col·locades entre tres node detectors (A, B i C). La font S emet dues particules, diguem-ne fotons, un al node A i l'altre a B. Els dos fotons es preparen en un estat entrellacat, com per exemple en polaritzacio. Es dir, es va correlacionar o preparar la polaritzacio de les particules d'una manera que e permesa per la teoria quantica (tan complexa com real), pero no per la teoria classica. La fon R fa exactament el mateix, emet dos fotons mes preparats en un estat entrellacat i els envia B i C, respectivament. El punt clau d'aquest estudi va ser trobar la manera adequada d mesurar aquests quatre fotons als nodes A, B i C per obtenir prediccions que no es pode explicar quan la teoria quantica es restringeix unicament als nombres reals

Com comenta l'investigador de l'ICFO**Marc-Olivier Renou**, i¿½Quan vam trobar aquest resultat, el desafiament era veure si l'experiment que haviem ideat es podia fer amb les tecnologies actuals. Despres de discutir amb col·legues de Shenzhen -Xina-, vam trobar un manera d'adaptar el nostre protocol per fer-ho factible amb els seus dispositius d'ultim generacio. I, com calia esperar, els resultats experimentals han coincidit amb les prediccions! i¿½. Aquest important experiment, realitzat en col·laboracio amb Zheng-Da Li, Ya-Li Mao, Hu Chen, Lixin Feng, Sheng-Jun Yang, Jingyun Fan de la Universitat de Ciencia i Tecnologia el Sud (Xina), i Zizhu Wang de la Universitat de Ciencia i Tecnologia Electronica (Xina) s ha publicat a la revista Physical Review Letters, en paral·lel amb l'article de Nat

e. Els resultats publicats a Nature es poden veure com una generalitzacio del teorema de B ll, que proporciona un experiment quantic que no pot ser explicat per cap formalisme l cal quantic. L'experiment de Bell involucra una font quantica S que emet dos fotons entrellac ts, un que va al node A i l'altre al B, preparats en un estat entrellacat. Aqui, per contra es necessiten dues fonts independents i aquesta independencia assumida es crucial i, per t

nt, es va establir acuradament a l'experim

t. L'estudi tambe mostra quant de bones poden ser les prediccions en combinar el conc pte d'una xarxa quantica amb les idees de Bell. Sens dubte, les eines desenvolupades i utilitz des per obtenir aquest primer resultat permetran als fisics aconseguir una millor comprensi de la teoria quantica i, un dia, poden ser la base per a la realitzacio i la materialitz cio d'aplicacions fins ara impensables per a l'Internet quan

c.

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.