

Entendendo o Nobel de física 2022

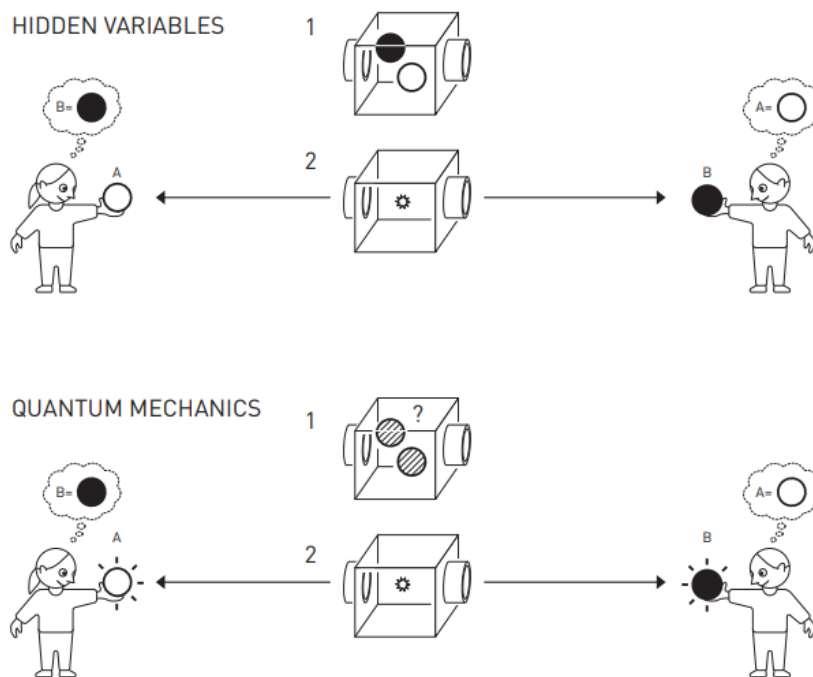
O 4 de outubro de 2022 outorgábase o Premio Nobel en física a Alain Aspect, John F. Clauser e Anton Zeilinger polos seus “experimentos con fotóns entretrecidos, establecendo a violación das desigualdades de Bell, e así ser pioneiros no campo da información cuántica”. Pero que quere dicir todo isto?

Os fundamentos da mecánica cuántica non só teñen interese teórico ou filosófico, senón que existen multitude de aplicacións nas que se están usando actualmente, como os ordenadores cuánticos ou a comunicación encriptada cuántica. Moitas das aplicacións baséanse na propiedade da cuántica que permite a dúas ou máis partículas existir nun estado compartido sen importar o separadas que estean, isto é o que se coñece como **entretacemento** e foi un dos elementos máis controvertidos dende a súa formulación, chegando incluso a molestar ao mesmo Einstein. Os laureados exploraron durante as súas carreiras investigadoras estes estados cuánticos entretrecidos e os seus experimentos sentan as bases dunha nova revolución da tecnoloxía cuántica.

Tecnicamente que dúas partículas estean entretrecidas quere dicir que se atopan nun estado de superposición onde coexisten varias posibilidades ata que un observador externo mide o sistema, cando o observador mida unha propiedade dunha das partículas saberá automaticamente o resultado dunha medida equivalente feita sobre a outra partícula sen ter que mirala.

Isto pode parecer lóxico se o pensamos cun exemplo clásico. Se temos dúas bolas, unha negra que se manda nunha dirección e outra branca mandada na contraria, un observador que recibe unha bola, ao ver a cor da súa sabe automaticamente a cor da outra. A particularidade da cuántica é que a cor das bolas non está determinada previamente (podemos pensar que son grises), e non adquiren cor ata que unha é observada. Nese momento a bola oposta volveríase da outra cor.

Pero, como sabemos que as bolas non tiñan unha cor determinada dende o comezo? Incluso se parecen grises igual hai algunha etiqueta interna que as distinga e que diga en que cor teñen que converterse cando alguén as observe. Isto é o que se considera nas chamadas *teorías de variables ocultas*. Non obstante, a mecánica cuántica di que as bolas adquiren a cor aleatoriamente, e as desigualdades de Bell mostran que hai experimentos que poden diferenciar entre os dous casos que se debuxan a continuación.

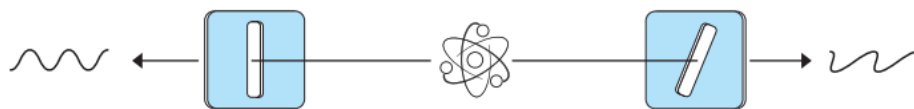


Sen embargo, o razoamento detrás da mecánica cuántica non tiña sentido para moitos científicos ao comezo, porque viola o principio de localidade que establece que dous obxectos afastados un do outro non poden influírse mutuamente de xeito instantáneo. A causa dun efecto ten que propagarse a unha velocidade menor ou igual que a velocidade da luz, pero na cuántica non parece que exista esta necesidade de conectar as partes do sistema con sinais, as bolas poderían estar moi afastadas e aínda así “comunicarse” instantaneamente.

Por isto, Einstein, Podolsky e Rosen publican o artigo titulado “Pode considerarse que a descrición cuántica da realidade é completa?” onde recollen o que se coñece como o paradoxo EPR, que manifesta esta incomodidade coa teoría e as súas conclusións.

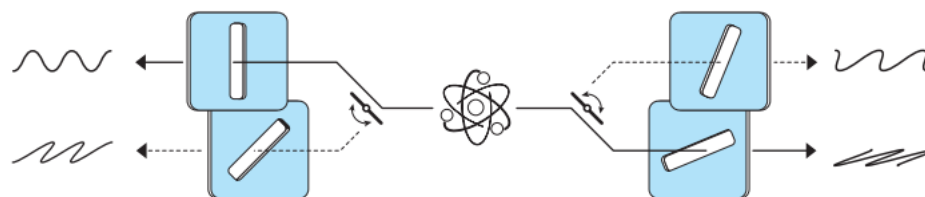
Para estudar este fenómeno, John Bell deduciu en 1964 unhas desigualdades de xeito que se Einstein, Podolsky e Rosen tivesen razón as desigualdades verificaríanse. Pola contra, se a teoría cuántica fose completa as desigualdades serían violadas.

Un dos galardoados, **John Clauser**, dedicou os seus esforzos a deseñar un experimento (1972) que puidera medir se se verifican ou non estas desigualdades na vida real. Para elo, usou átomos de calcio que emiten fotóns entretrecidos e mandou estes fotóns en direccións opostas. Os fotóns teñen unha propiedade que é a polarización, que cando se emiten é indeterminada pero pode ser medida con filtros postos en distintas orientacións. Cambiando os ángulos dos filtros, o que se viu era que a probabilidade de que unha partícula atravesara un filtro dependía do ángulo do filtro que mediu a polarización da súa compañeira no lado oposto. Os resultados de ambas medicións a determinados ángulos violan as desigualdades de Bel, e teñen unha correlación maior da que terían se os resultados estiveran gobernados por variables ocultas de xeito que xa estiveran determinadas as polarizacións cando se emiten as partículas.



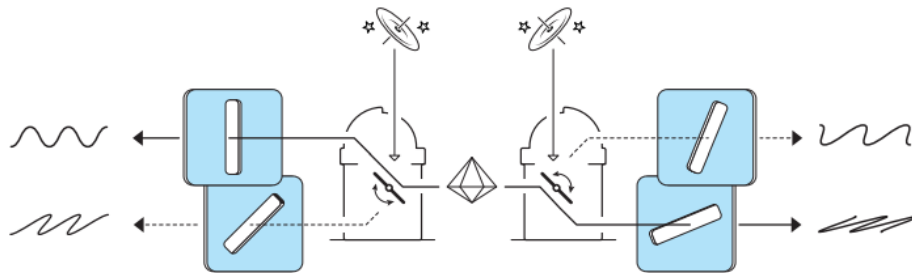
Non obstante, este experimento era ineficiente producindo e capturando as partículas. Ademais, as medidas están pre-fixadas cos filtros a determinados ángulos. Poderíamos cuestionar os resultados, e se o experimento selecciona só as partículas con correlación forte e non detecta as outras? Se isto pasara poderían seguir levando información oculta.

Aquí é onde entra o estudante de doutoramento francés **Alain Aspect**, que mellorou o experimento, de xeito que puidera detectar os fotóns que pasaran o filtro e tamén os que non. Ademais, foi capaz de dirixir os fotóns cara dous filtros diferentes a distintos ángulos, cambiando a súa dirección despois de que se emitiran, por tanto non poden influír na medida pois a súa dirección non está determinada antes de crearse o par. Tampouco a información sobre os filtros dun lado do experimento podería chegar ao outro lado do experimento e afectar ao resultado da medición alí. O resultado foi claro: a mecánica cuántica é correcta.



Este e outros experimentos deron comezo á investigación actual en información cuántica, para a cal é necesario ser capaces de manipular estados cuánticos e as súas propiedades. Na actualidade estanse manexando sistemas con máis de dúas partículas, todas as cales están entretrecidas, aquí **Anton**

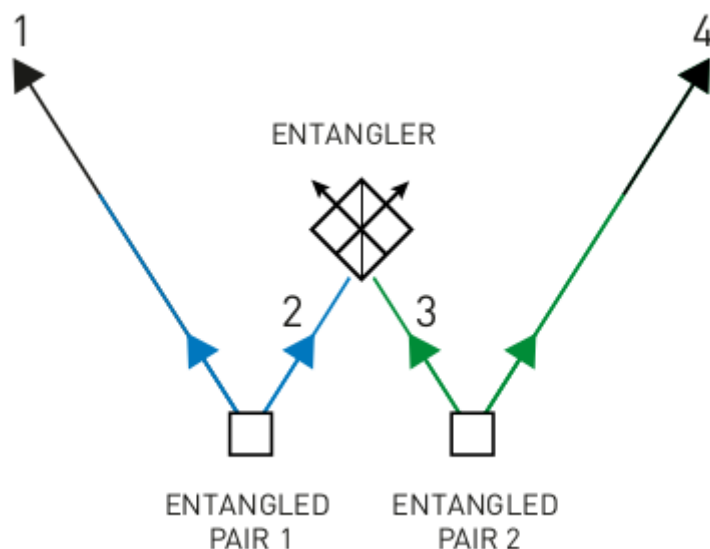
Zeilinger e os seus compañeiros foron os primeiros en traballar. Tamén levou a cabo máis test das desigualdades de Bell, creando os pares de fotóns irradiando un cristal especial cun láser e usando números aleatorios para cambiar os axustes do experimento. Os resultados foron os mesmos.



Dende o punto de vista tecnolóxico, os estados cuánticos entrelazados teñen potencial para novos modos de almacenar, transferir e procesar información. Isto é porque ocorren cousas interesantes cando as partículas dun par entrelazado viaxan en direccións opostas e unha atópase cunha terceira de xeito que se entrelazan. Neste momento, a terceira partícula perde a súa identidade, pero as súas propiedades transfírense á partícula individual do par orixinal. Isto é o que se coñece como **teleportación cuántica**, a primeira vez que se fixo experimentalmente foron Zeilinger e os seus colegas en 1997.

Unha vez foi demostrado experimentalmente, o seguinte paso foi usar dous pares de partículas entrelazadas. Se se xuntan unha partícula de cada par dun xeito específico, as outras dúas partículas (1,4 no debuxo) poden converterse nun par entrelazado sen estar nunca en contacto unha coa outra. Isto foi demostrado de novo por Zeilinger en 1998 e é un descubrimento particularmente interesante pois permite aumentar a distancia que pode percorrer a información cuántica.

A luz ordinaria pode amplificarse polo camiño, pero isto non o podemos facer con pares entrelazados pois se rompe o entrelazamento. Non obstante, co **intercambio de entrelazamento** podemos transferir o estado orixinal por distancias maiores.



Estas ferramentas cada vez máis complexas permiten que as aplicacións realistas estean cada vez máis preto, e cada ano fanse máis avances para a utilización das propiedades cuánticas na computación. A primeira revolución cuántica trouxo consigo os láser e os transistores, base de toda a tecnoloxía moderna. Agora estamos entrando nunha nova era grazas ás ferramentas contemporáneas de manipulación de sistemas de partículas entretrecidas.

Caetano Eirea Orro