



Anmelden

Menü | Politik Meinung Wirtschaft Panorama Sport Kultur Netzwelt Wissenschaft mehr ▼

WISSENSCHAFT

Schlagzeilen | DAX 13.105,61 | Abo

Nachrichten > Wissenschaft > Natur > Quantenphysik > Albert Einstein und die Quantentheorie: Wo das Genie falsch lag

Quantenmechanik

Und Einstein hatte doch nicht recht

In der Quantenphysik beeinflussen sich Teilchen über große Entfernungen hinweg. Das glauben Sie nicht? Dann geht es Ihnen wie Albert Einstein. Doch das Genie lag falsch.



Von Philipp Seibt ▼



Die Milchstraße

Imago/ Eibner

Teilen Twittern E-Mail

Donnerstag, 09.02.2017 10:49 Uhr

[Drucken](#) [Nutzungsrechte](#) [Feedback](#) [Kommentieren](#)

Albert Einsteins Verhältnis zur Theorie der kleinsten Teilchen war stets ambivalent: Einerseits hat er die Quantentheorie maßgeblich mitentwickelt, andererseits wollte sich Einstein mit den Konsequenzen der Theorie nie so recht anfreunden.

Diese Skepsis mündete im Jahr 1935 in [einen weltberühmten wissenschaftlichen Aufsatz](#): "Kann die quantenmechanische Beschreibung der physikalischen Welt vollständig sein?", fragte Einstein dort mit seinen Kollegen Boris Podolsky und Nathan Rosen.

WIRD GANZ
WART
UM'S HERZ

Die Echte
aus dem
TV

119,95 €
99,95 €

JETZT ENTDECKEN > **MEDION**

Die drei Forscher schrieben auf, was eine akzeptable physikalische Theorie ihrer Meinung nach erfüllen muss - und zeigten, dass die Quantenmechanik dagegen verstößt und demnach falsch sein muss. Doch in den vergangenen 80 Jahren wurde nicht die Quantenmechanik widerlegt, sondern Einstein und seine Kollegen.

Mit einem Experiment auf den Dächern Wiens hat ein internationales Forscherteam die quantenmechanische Vorstellung der Welt nun erneut bestätigt - und dabei ein wichtiges Schlupfloch geschlossen. Zentrale Zutat des Versuchs war 600 Jahre altes Sternenlicht, schreiben sie in der Fachzeitschrift "[Physical Review Letters](#)".

Was glaubte Einstein?

In ihrem Aufsatz stellten Einstein und Kollegen unter anderem die folgenden zwei Bedingungen an eine Theorie, welche die Welt beschreiben soll:

- **Realität:** Ein Teilchen - zum Beispiel ein Lichtteilchen oder Photon - soll festgelegte Eigenschaften haben. Die Eigenschaften sind unabhängig davon, ob ein Forscher das Photon ausmisst oder nicht.
- **Lokalität:** Die Messung des Teilchens A beeinflusst nicht die Eigenschaften des Teilchens B - sofern die Teilchen räumlich getrennt sind.

Beide Bedingungen zusammen werden als lokaler Realismus bezeichnet.

Was sagt die Quantenmechanik?

Die Quantenmechanik widerspricht den beiden Bedingungen von Einstein, Podolsky und Rosen:

- **Realität:** In der Quantenmechanik hat ein Teilchen erst dann eine bestimmte Eigenschaft, wenn es von einem Forscher vermessen wurde. Bis zum Zeitpunkt der Messung hat das Teilchen alle möglichen Eigenschaften gleichzeitig - und die Quantentheorie kann nur vorhersagen, wie wahrscheinlich eine Eigenschaft ist. Eine physikalische Messung hat demnach kein festes Ergebnis - sondern ähnelt dem Werfen einer Münze.
- **Lokalität:** In der Quantenmechanik lassen sich Teilchenpaare erzeugen, bei denen die Messung des Teilchens A die Eigenschaft des Teilchens B festlegt. Man sagt, die Teilchen sind "verschränkt". Das Erstaunliche: Das funktioniert ohne den Austausch von Signalen und auch, wenn die Teilchen beliebig weit voneinander entfernt sind. Einstein bezeichnete diese Konsequenz einst als "spukhafte Fernwirkung".

Wie kann man testen, wer recht hat?

Knapp 30 Jahre lang setzte Einsteins Aufsatz Staub an. Erst der theoretische Physiker John Bell machte im Jahr 1964 einen entscheidenden Schritt: Bell [leitete eine Ungleichung her](#), die gelten muss, wenn die Welt einer lokal realistischen Theorie gehorcht, so wie Einstein und Kollegen sie sich vorgestellt haben.

Die Quantenmechanik verstößt gegen diese Ungleichung - sie ist ja nicht lokal-realistisch. Der Clou: Die Größen in der Ungleichung lassen sich im Labor messen. Bell lieferte den Physikern damit ein Kochrezept, um die Quantentheorie experimentell zu überprüfen.

Das ist genau das, was Forscher seitdem immer wieder gemacht haben. Das Ergebnis war jedes Mal: Die Vorhersagen der Quantenmechanik sind richtig, Einstein lag falsch, wir leben nicht in einer lokal-realistischen Welt.

Die Hintertürchen

Doch alle Experimente hatten auch ein "Aber" - eine theoretische Möglichkeit, warum die Welt vielleicht doch lokal-realistisch ist. Diese Hintertürchen heißen "versteckte Variablen" - und wurden bereits von Einstein und seinen Kollegen als Lösung vorgeschlagen.

Letztlich handelt es sich dabei um eine Art kosmische Verschwörungstheorie: Versteckte Variablen, die wir nicht kennen, lassen die physikalischen Experimente zufällig aussehen - obwohl sie eigentlich gar nicht zufällig sind.

Es gibt prinzipiell drei dieser Hintertürchen: das Lokalitäts-Hintertürchen, das Mess-Hintertürchen und das Freie-Wahl-Hintertürchen ([☞ eine ausführliche Erklärung aller drei findet sich auf Englisch hier](#)).

Zunächst konnten Forscher nur einzelne Löcher stopfen. 2015 gelang es ihnen dann, die ersten beiden Hintertüren gleichzeitig auszuschließen. Nun hat das Forscherteam in Wien das erste und das dritte Hintertürchen gleichzeitig geschlossen - und können damit die Idee der "versteckten Variablen" fast ganz ausschließen.

Das neue Experiment

Dafür bauten die Forscher auf den Dächern Wiens ein aufwendiges Experiment auf. Auf dem Dach des Instituts für Quanteninformation erzeugten die Wissenschaftler zwei miteinander verschränkte Photonen, also Lichtteilchen.

Das eine Photon schickten sie auf das 557 Meter entfernte Dach der Österreichischen Nationalbank. Das andere Photon reiste 1149 Meter zu einem zweiten Unigebäude. An beiden Standorten wird dann eine Eigenschaft der ankommenden Photonen - ihre Polarisierung - gemessen.

Dies kann in zwei Richtungen geschehen - welche Richtung gewählt wird, entscheidet der Zufall. Bisher wurden die Zufallszahlen dafür auf der Erde generiert - dann jedoch könnte theoretisch eine versteckte Variable Millisekunden vor dem Experiment dafür sorgen, dass die Zahlen nur zufällig aussehen, obwohl sie es nicht sind.

600 Jahre altes Sternenlicht

Deshalb verwendeten die Forscher nun Licht von Sternen in der Milchstraße, um die Zufallszahlen zu generieren, das sie mit einem Teleskop eingefangen haben. Dann maßen sie die Energie des eintreffenden Lichtes. Lag diese unterhalb eines bestimmten Schwellenwerts, wurde in der einen Richtung gemessen; lag sie darüber, in der anderen.

Zum Schluss haben die Forscher die Polarisierung der beiden Photonen verglichen. Die Ergebnisse zeigten erneut die "spukhafte Fernwirkung" und bestätigten die Vorhersagen der Quantenmechanik.

ANZEIGE

Aber könnte nicht doch eine versteckte Variable das Ergebnis produziert haben? Wegen der langen Zeit, die das Licht unterwegs war, ist das sehr unwahrscheinlich: "Damit ein verrückter Mechanismus in unserem Experiment die Quantenmechanik vorspielt, muss es diesen schon vor 600 Jahren gegeben haben", sagt Alan Guth vom Massachusetts Institute of Technology, der an der Studie beteiligt war. "Der Mechanismus hätte vor 600 Jahren Photonen in genau der richtigen Reihenfolge losschicken müssen, damit sie hier und heute auf der Erde die Resultate der Quantenmechanik reproduzieren."

Die Wahrscheinlichkeit, dass es einen solchen Mechanismus gibt, berechneten die Forscher auf 1 zu 6 Billionen. Es scheint, Einstein hätte wirklich nicht recht gehabt.

Diesen Artikel...

[Drucken](#) | [Feedback](#) | [Nutzungsrechte](#)



Auch interessant

ANZEIGE



ANZEIGE

ANZEIGE

US-Mattress

Queen Ashley Chime 8 Inch Innerspring Firm Bed in a Box Mattress
\$169 - For decades Ashley has...

Jasper Caven

Das wird der Abnehm-Industrie nicht gefallen. Ernährungsberater verschenkt seinen...

Walmart

Disney Frozen 2 Kids Anna and Elsa Whole Room Solution Toy Storage Set - Walmart Exclusive...
Free 2-Day Shipping on Orders

ANZEIGE



ANZEIGE

ANZEIGE

CNN Underscored

Find The Right At-Home DNA Testing Kit For You

Arhaus

Quality Home Furniture and Décor
Amelie 41" Wooden Arched Floor...

Macy's

Calvin Klein Baby Boys Faux-Fur Trim Pram
macys.com

Verwandte Artikel

Bose-Einstein-Kondensat: Erstmals exotischer Quantenzustand im All erzeugt (23.01.2017)

Kürzeste je gemessene Zeitspanne: 0,000000000000000007 Sekunden (16.11.2016)

Quantenkryptografie: Forscher teleportieren Signale durch Städte (20.09.2016)

Abhörer: China schickt Quanten-Satelliten ins All (16.08.2016)

Quantenexperiment: Physiker klonen Schrödingers Katze (27.05.2016)

Mehr im Internet

[Erklärung der Hintertürchen](#)

[Aufsatz von Einstein, Podolsky, Rosen](#)

[Aufsatz von Bell](#)

Mehr zum Thema

[Quantenphysik](#) [Albert Einstein](#) [Alle Themenseiten](#)

Forum >



Diskussion über diesen Artikel

insgesamt 236 Beiträge

[+](#) Alle Kommentare öffnen

Seite 1 von 48



Ringmodulation 09.02.2017

1. Verzerrte Darstellung

Wenn Einstein tatsächlich geglaubt hätte, die Eigenschaften der Teilchen seien immer unabhängig von der Messung, warum hat er sich dann die Mühe gemacht, versteckte Variablen zu hypothesieren?

Selbstverständlich wusste [...]



ZOOMOTELS 09.02.2017

2. Ich hab's ja schon immer gewusst,

Wir leben in einer Simulation, und damit es zufällig aussieht hat jeder Mensch seine eigenen Variablen.

Beispiel: Alle unsere Sinne liefern Sinneseindrücke ins Gehirn. Jeder sinnliche Input wie z.B. Geruch, Optik, Geräusch, [...]



Kashrlyyk 09.02.2017

3. Dämlich

"Realität: In der Quantenmechanik hat ein Teilchen erst dann eine bestimmte Eigenschaft, wenn es von einem Forscher vermessen wurde. Bis zum Zeitpunkt der Messung hat das Teilchen alle möglichen Eigenschaften gleichzeitig - [...]



dirsch 09.02.2017

4.

Ich verstehe zum grossen Teil zwar nur Bahnhof, aber warum soll eine "versteckte Variable" nicht z.B. die Messung des "alten Sternenlichts" beeinflusst haben oder das Licht selbst, wenn es in die Atmosphäre [...]



susuki 09.02.2017

5.

Die Quantentheorie in ihrer heutigen Form wird mindestens 100 Jahre bestand haben. In 100 Jahren aber wird ein Quantenmechanischer Spielzeugkasten ein Experiment beinhalten, welcher die scheinbare Verschränkung auf das Wirken [...]



[+](#) Alle Kommentare öffnen

Seite 1 von 48

Anzeige

**Überschüssige iPhones
80% billiger!**

So bekommen Sie Apple Produkte mit bis zu 80% Rabatt. [mehr...](#)

Milliardenmarkt Diabetes

Diese Pharma-Aktie ist im Begriff Diabetes zu heilen. Gewinnchance von 55.767,4% [mehr...](#)

^ TOP

Serviceangebote von SPIEGEL-ONLINE-Partnern

AUTO

Benzinpreis
Bußgeldrechner
Firmenwagenrechner

JOB

Brutto-Netto-Rechner
Uni-Tools
Jobsuche

FINANZEN

Währungsrechner
Versicherungen

FREIZEIT

Eurojackpot
Lottozahlen
Glücksspirale

Sportwetten
Gutscheine
Bücher bestellen

Arztsuche
Ferientermine
Spiele

SPIEGEL GRUPPE

Abo - Shop - bento - manager magazin - Harvard Business Manager - buchreport - Werbung - Jobs - SPIEGEL Akademie

DER SPIEGEL

SPIEGEL CHRONIK

SPIEGEL GESCHICHTE

SPIEGEL WISSEN

Dein SPIEGEL



 [Twitter](#)  [Facebook](#)

[Impressum](#) - [Datenschutz](#) - [Nutzungsbedingungen](#) - [Nutzungsrechte](#) - [Kontakt](#) - [Hilfe](#)
