

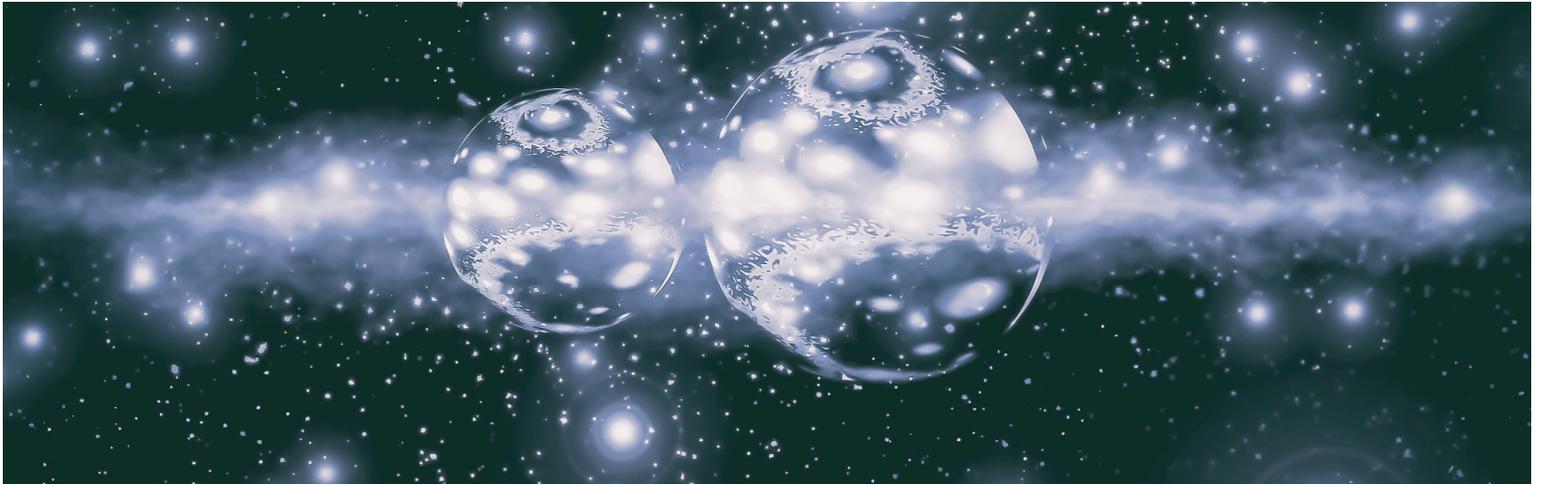
25.04.2018

UNIVERSUM

Gottes letztes Schlupfloch

Die Quantenphysik basiert auf Zufall, da sind sich Physiker eigentlich sicher. Aber ein Restzweifel bleibt. Ein neues Experiment soll ihn aus der Welt schaffen.

von Robert Gast



© GIROSCIENCE / STOCK.ADOBE.COM (AUSSCHNITT)

Was lenkt das Universum? Seit Anfang des 20. Jahrhunderts glauben Physiker die Antwort zu kennen: Die Welt basiert auf Zufall. Er bestimmt, ob Atomkerne von einem Moment auf den nächsten zerfallen. Ob Elektronen nach links oder rechts hüpfen. Oder ob aus dem Nichts plötzlich ein Strahlungsblitz auftaucht, der den Mikrokosmos an einem entscheidenden Punkt in eine ungeahnte Richtung lenkt.

Das besagen zumindest die Formeln der Quantenphysik, die Physiker wie Niels Bohr, Werner Heisenberg und Erwin Schrödinger vor einem knappen Jahrhundert entwickelten. Aber ist das die ganze Wahrheit? Gibt es wirklich niemanden, der vor jeder Quantenbewegung entscheidet, welchen Weg die Natur wählt? Albert Einstein hatte mit dieser Vorstellung große Probleme. »Gott würfelt nicht!«, soll er sinngemäß gesagt haben.

Gott würfelt eben doch

Momentan sieht es so aus, als ob das Jahrhundertgenie irrte – Gott würfelt doch, und zwar immer. Längst haben Experimente nicht nur den Zufallscharakter der Quantenphysik bewiesen, sondern auch andere Besonderheiten zu Tage gefördert. So befinden sich Quantenobjekte stets in einer Überlagerung mehrerer Zustände, ähnlich wie ein Fußball, der gleichzeitig vor und hinter der Torlinie liegt. Erst bei einer Messung entscheidet die Natur auf Basis von Wahrscheinlichkeiten, wo genau sich ein Objekt befindet (oder welche Eigenschaften es hat).



© CERN PHOTOLAB (AUSSCHNITT)

John Bell am CERN | Der Physiker John Stewart Bell (1928 – 1990) machte mit seinem Theorem die der Quantenphysik innewohnenden zentralen Widersprüche zur klassischen Physik überprüfbar. In dieser Aufnahme aus dem Jahr 1982 steht er in einem Seminarraum des CERN an einer Tafel.

Besonders bizarr wird es, wenn Physiker mehrere interagierende Teilchen beschreiben, beispielsweise Photonen, die Quantenteilchen des Lichts. Ihre Zustände sind dann ebenfalls überlagert, und kurioserweise

bleibt das so, wenn sich die Lichtteilchen voneinander entfernen. Die Folge ist kaum vorstellbar: Bei einer Messung des einen Quants wird auch der Zustand seines Partners festgelegt, Physiker sprechen von »Verschränkung«.

Hoffnung auf verborgene Variablen

Besonders verrückt: Verschränkte Teilchen reagieren selbst dann noch auf die Messung ihres Partners, wenn dieses eigentlich zu weit weg ist, um das Signal mit Lichtgeschwindigkeit (der kosmischen Höchstgeschwindigkeit) zu übermitteln. Aus Sicht der meisten Menschen geht im Mikrokosmos also etwas höchst Seltsames vor sich.

Albert Einstein – er war wirklich kein Fan der Quantentheorie – verspottete diese Vorhersage seiner Kollegen als »spukhafte Fernwirkung«. Er vermutete, dass es eine tiefere, deterministische Ebene der Realität gibt, in der festgelegt wird, wie eine Messung ausgeht. Das würde den Zufall aus dem Weltbild der Physik entfernen.

Gemeinsam mit Boris Podolsky und Nathan Rosen ersann Einstein 1935 ein berühmtes Gedankenexperiment zu dieser Frage. Der Ire John Stewart Bell entwickelte den Gedanken weiter und entwarf 1964 ein Experiment, mit dem sich die Quantenphysik im Labor auf den Prüfstand stellen lassen sollte.

Bells Gedanke: Wenn die Quantenphysik wirklich rein zufällig ist, müsste das Maß, in dem die Zustände verschränkter Teilchen korrelieren, stets eine bestimmte Schwelle überschreiten. Mittlerweile wurden etliche dieser Bell-Tests durchgeführt. Das Ergebnis war stets eindeutig. Die Quantentheorie ist tatsächlich so, wie Einstein befürchtete: zufällig und ein glasklarer Verstoß gegen den »lokalen Realismus«, also die Annahme, dass Objekte kausal verknüpft sein müssen, wenn sie Einfluss aufeinander ausüben.

Doch kein Zufall?

Aber bis heute bleiben Lücken. Eines davon, das so genannte »Freedom-of-choice«-Schlupfloch, ist besonders schwer zu stopfen, und es zieht seit einigen Jahren viel Aufmerksamkeit auf sich. Im Kern dreht es sich

um die Frage, ob etwas den Physikern den Zufallscharakter in Quantenmessungen nur vorgaukeln könnte. Das ist bisher durchaus denkbar.

Physiker nutzen für ihre Bell-Tests lediglich Quantenobjekte, die von der Erde stammen. Beispielsweise verschränken sie zwei Photonen miteinander und testen deren Polarisierungen mit Hilfe zweier optischer Modulatoren, die nur Lichtteilchen einer bestimmten Schwingungsrichtung durchlassen. Welche das ist, legen Zufallsgeneratoren fest. Über viele Messungen entsteht so ein Bild, wie stark die Zustände verschränkter Teilchenpaare korrelieren, beziehungsweise wie deutlich sie den lokalen Realismus verletzen.



© NASA/JPL-CALTECH (AUSSCHNITT)

Quasar | Ein Quasar – hier künstlerisch dargestellt – entsteht, wenn ein supermassereiches Schwarzes Loch mit seiner gewaltigen Schwerkraft allmählich die rotierende Scheibe aus Gas und Staub aufzehrt, von der es umgeben ist. Die Strahlung der Giganten ist noch in Milliarden Lichtjahren Entfernung sichtbar.

Aber was, wenn die Natur die Photonen und die beiden Zufallsgeneratoren auf einer verborgenen Ebene der Realität aneinandergeschaltet hat? In diesem Fall käme bei der Messung womöglich etwas heraus, was nach Zufall aussieht, in Wahrheit aber eine Kausalität darstellt, die auf den Wert von Einsteins »verborgenen Variablen« zurückgeht.

Hunderte Jahre alte Photonen

Vor einem Jahr führten Physiker eine spektakuläre Messung durch, die dieses Schlupfloch verkleinerte. Darin nutzten sie Lichtteilchen, die von weit entfernten Sternen stammten, als Basis ihrer Zufallsgeneratoren. Die Photonen waren also vor ihrer Verwendung im Zufallsgenerator hunderte Jahre unterwegs gewesen und stammten aus verschiedenen Ecken des Alls. Somit konnten die Physiker ausschließen, dass sie andere Teil des Experiments während der vergangenen 600 Jahren beeinflusst hatten.

Doch das war erst der Anfang im Kampf gegen das »Freedom-of-choice«-Schlupfloch. Langfristig wollen Physiker noch ambitionierte Experimente durchführen. Einen wichtigen Meilenstein auf diesem Weg stellt nun ein Team um David Kaiser vom Massachusetts Institute of Technology vor: Die Forscher haben den Zufallsgenerator aus dem 2017er Experiment ihrer Kollegen weiterentwickelt. Damit könnte man das Schlupfloch noch weiter schließen als bisher, berichten die Forscher im Fachmagazin »Physical Review A«.

Der Zufallsgenerator von Kaiser und Kollegen nutzt nicht bloß das Licht von Sternen aus der Milchstraße, sondern auch das von zwölf Quasaren. Dahinter verbergen sich die Kerne aktiver Galaxien, die immer wieder große Strahlungsmengen ins All feuern – und die Milliarden Lichtjahre voneinander und von uns entfernt sind.

Einige der extrem weit gereisten Photonen könnten künftig die Zufallsgeneratoren in Bell-Tests bestücken, schreiben die Forscher. Bestätigen solche aufgebohrten Tests erneut die Quantenphysik, müssten Kritiker argumentieren, dass sich Teilchen über eine Entfernung von Milliarden Lichtjahren abgesprochen haben. Damit würde der Raum für eine kosmische Quanten-Verschwörung deutlich schrumpfen.

Das ultimative Schlupfloch

Gut möglich, dass eine solche Messung findigen Experimentatoren in absehbarer Zeit gelingt. Aber mindestens ein Schlupfloch bliebe davon unberührt: Was, wenn schon beim Urknall etwas alle Teilchen im

Universum weitsichtig manipulierte? Und zwar so, dass es bei heutigen Messungen so wirkt, als verhielten sie sich zufällig? Albert Einstein würde ein solcher »Hyper-Determinismus« womöglich gefallen. Blicke nur die Frage, warum ein mutmaßlicher Schöpfer zu solch einer Heimtücke greifen sollte, um die Menschheit an der Nase herumzuführen.

Robert Gast

Der Autor ist Physiker und Redakteur bei »Spektrum.de« und »Spektrum der Wissenschaft«.



Dieser Artikel ist enthalten in **Spektrum - Die Woche, 17/2018**

- Jetzt informieren!
- Ausgabe als PDF-Download (EUR 1,99)
- Die Woche-Archiv