



12. April 2013

PhysikerInnen stopfen "Schlupfloch" in Quantenexperimenten

Ein Team um Anton Zeilinger, Professor für Experimentalphysik der Universität Wien und Direktor des Instituts für Quantenoptik und Quanteninformation (IQOQI) der ÖAW, hat einen Versuch mit Photonen durchgeführt, bei dem nun ein wichtiges "Schlupfloch" geschlossen werden konnte. Der Nachweis, dass und wie die Quantenwelt unserer Alltagserfahrung widerspricht und weitere Ergebnisse dieser Arbeit erscheinen aktuell in der renommierten Fachzeitschrift Nature (Advance Online Publication/AOP).

Wenn wir einen Gegenstand beobachten, dann gehen wir davon aus, dass einerseits seine Eigenschaften schon vor der Beobachtung eindeutig feststehen und dass andererseits diese Eigenschaften unabhängig sind vom Zustand anderer, weit entfernter Objekte. Für Gegenstände unseres Alltags ist dem auch so. Für Quantenobjekte hingegen treffen diese scheinbar selbstverständlichen Annahmen nicht ohne weiteres zu. In den vergangenen 30 Jahren haben zahlreiche Experimente gezeigt, dass das Verhalten von Quantenteilchen – wie Atome, Elektronen oder Photonen – in klarem Widerspruch mit obiger Wahrnehmung stehen kann. Jedoch haben diese Experimente nie über alle Zweifel erhabene Antworten geliefert. Stets war es im Prinzip möglich, dass die beobachteten Teilchen eine Schwäche des Experiments "ausgenützt" hatten. Ein Team um Physiker Anton Zeilinger hat nun einen Versuch mit Photonen durchgeführt und dabei ein wichtiges "Schlupfloch" geschlossen. Die ForscherInnen haben damit den bisher vollständigsten experimentellen Nachweis erbracht, dass und wie die Quantenwelt unserer Alltagserfahrung widerspricht.

Die Quantenphysik liefert ein extrem präzises und fundamentales Werkzeug, um die Welt um uns bis in kleinste Details zu verstehen. Sie ist aber auch Grundlage für die moderne Hochtechnologie: Halbleiter (und damit Computer), Laser, Magnetresonanztomographen und andere Geräte basieren auf quantenphysikalischen Effekten. Dies kann jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass nach mehr als einem Jahrhundert intensiver Forschung fundamentale Aspekte der Quantentheorie noch nicht vollkommen verstanden sind. Auch heute noch werden aus Laboratorien weltweit – jeder Intuition widersprechende Ergebnisse – gemeldet, die jedoch im Rahmen der Quantentheorie erklärt werden können.

Dem Rätsel der Quantenverschränkung auf der Spur

Die Wiener PhysikerInnen berichten nun aber nicht von einem neuen Effekt, sondern sind einem der grundlegendsten Phänomene der Quantenphysik, der sogenannten "Verschränkung", tiefer auf den Grund gegangen. Die Konsequenzen der Quantenverschränkung sind verblüffend: Wenn man ein Quantenobjekt misst, das mit einem anderen verschränkt ist, dann, so sagt die Quantentheorie, ist der Zustand eines Teilchens von der Messung, die an dem anderen durchgeführt wird, abhängig. Dies ist auch der Fall, wenn die beiden Teilchen so weit voneinander entfernt sind, dass sie selbst im Prinzip nicht miteinander kommunizieren können (die Kommunikationsgeschwindigkeit ist grundlegend durch die Lichtgeschwindigkeit beschränkt). Eine große Aufgabe ist es, die Vorhersage der gegenseitigen Beeinflussung verschränkter Quantenteilchen in realen Experimenten zu testen.

Auf dem Weg zu einer abschließenden Antwort

Anton Zeilinger und den jungen WissenschaftlerInnen Marissa Giustina, Alexandra Mech, Rupert Ursin, Sven Ramelow und Bernhard Wittmann ist in einer internationalen Kooperation mit dem National Institute of Standards and Technology (USA), der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (Deutschland) und dem Max-Planck-Institut für Quantenoptik (Deutschland) ein wichtiger Schritt gelungen, um einen endgültigen experimentellen Beweis zu erbringen, dass Quantenteilchen in der Tat mehr können als die klassische Physik ihnen erlaubt. ~~Für das Experiment baute das Team eine der weltbesten Quellen von verschränkten Photonenpaaren und hocheffiziente Photonendetektoren.~~ Technologische Verbesserungen gemeinsam mit einem geeigneten Aufnahmeprotokoll ermöglichten den Forschenden, verschränkte Photonen mit einer bisher nicht dagewesenen Effizienz zu detektieren. "Die erzeugten Photonen können sich nicht mehr davor drücken, gemessen zu werden", bringt es Zeilinger auf den Punkt.

Diese engmaschige Überwachung der Photonen ist wichtig, weil damit ein wesentliches "Schlupfloch" geschlossen wird. Bei bisherigen Experimenten dieser Art blieb stets die Möglichkeit offen, dass die gemessenen Lichtteilchen zwar die Gesetze der klassischen Physik verletzt hatten, dies aber nicht der Fall gewesen wäre, wenn alle im Experiment involvierten Teilchen hätten gemessen werden können.

Diese Möglichkeit wird in dem neuen Experiment ausgeschlossen. "Viele Wissenschaftler haben sich bis jetzt gescheut, Experimente mit Photonen durchzuführen, weil diese zu einfach verloren gehen — genau dieses Problem haben wir jetzt im Griff", erklärt Marissa Giustina, Erstautorin der aktuellen Publikation.

Noch ein Schritt zum krönenden Abschluss

Mit dem neuen Experiment von Marissa Giustina und ihren KollegInnen sind Photonen die ersten Quantenteilchen, für die – zwar nicht in einem einzigen, aber – in mehreren separaten Experimenten jede mögliche Hintertür geschlossen wurde. Die Krönung wäre jedoch noch ein einziges Experiment, in welchem den Photonen durch Mittel der klassischen Physik sämtliche mögliche Wege versperrt werden würde. Ein solches Experiment wäre auch für eine wichtige praktische Anwendung von grundlegender Bedeutung: Die sogenannte Quantenkryptographie beruht auf quantenmechanischen Prinzipien und gilt als absolut abhörsicher. Ein Lauschangriff ist aber im Prinzip möglich, solange "Schlupflöcher" bestehen. Nur wenn diese geschlossen sind, ist ein vollkommen sicherer Austausch von Nachrichten möglich.

"Ein Experiment ohne jedes Schlupfloch", sagt Zeilinger, "ist eine große Herausforderung. Daran arbeiten einige Gruppen weltweit." Diese Experimente werden nicht nur mit Photonen versucht, sondern auch mit Atomen, Elektronen und anderen Systemen, die quantenmechanisches Verhalten an den Tag legen. Das Experiment der Wiener PhysikerInnen zeigt aber deutlich das Potenzial, das in Photonen steckt, auf. Dank diesen Fortschritten gehen dem Photon die "Schlupfwinkel" aus und die PhysikerInnen sind näher denn je an einem Experiment, das belegt, dass die Quantenphysik wirklich so sehr gegen unsere Intuition und Alltagserfahrung verstößt, wie dies die Forschungsarbeiten der vergangenen Jahrzehnte nahelegen.

Diese Arbeit entstand in Zusammenarbeit folgender Institutionen: Institut für Quantenoptik und Quanteninformation – Wien / IQOQI Wien (Österreichische Akademie der Wissenschaften), Quantenoptik, Quantennanophysik und Quanteninformation, Fakultät für Physik (Universität Wien), Max-Planck-Institut für Quantenoptik, National Institute of Standards and Technology / NIST, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Berlin.

Die Forschungsarbeit wurde unterstützt von: ERC (Advanced Grant), Austrian Science Fund (FWF), CoQuS, Marie Curie Research Training Network EMALI, die John Templeton Foundation und NIST Quantum Information Science Initiative (QISI).

Bildunterschrift; IQOQI Wien, Jacqueline Godany 2012

Publikation

Bell violation using entangled photons without the fair-sampling assumption: Marissa Giustina*, Alexandra Mech*, Sven Ramelow*, Bernhard Wittmann*, Johannes Kofler, Jörn Beyer, Adriana Lita, Brice Calkins, Thomas Gerrits, Sae Woo Nam, Rupert Ursin, Anton Zeilinger. In: Nature (Advance Online Publication/AOP). April 14, 2013.
DOI: **10.1038/nature12012**

Kontakt

Anton Zeilinger
Institut für Quantenoptik und Quanteninformation (IQOQI)
Österreichische Akademie der Wissenschaften
Quantenoptik, Quantennanophysik und Quanteninformation
Universität Wien, Fakultät für Physik
1090 Wien, Boltzmannngasse 3

Sekretariat

T +43-1-4277-512 01

zeilinger-office@univie.ac.at