



Quantenmechanische Effekte im großen Maßstab

Quantenmechanik beschreibt die Welt der Elementarteilchen. Die Preisträger John Clarke, Michel H. Devoret und John M. Martinis zeigten jedoch, dass die Quantenmechanik auch in größerem Maßstab von Bedeutung sein kann, indem sie eine Art künstliches Atom in einem supraleitenden elektrischen Schaltkreis mit Milliarden von Teilchen entwickelten. Die Steuerung quantenmechanischer Effekte in einem makroskopischen System ist sowohl für die Grundlagenforschung als auch für die Entwicklung neuer Quantentechnologien von großem Wert.

Physiker*innen beschreiben oftmals Phänomene, an denen einzelne Teilchen beteiligt sind, als mikroskopisch, obwohl diese eigentlich weitaus kleiner sind als alles, was man unter einem Lichtmikroskop erkennen kann. Im Gegensatz dazu spricht man von makroskopischen Phänomenen wenn eine große Anzahl von Teilchen beteiligt ist.

Das Experiment der Preisträger belegt, wie ein makroskopisches System, genau wie einzelne Teilchen, Quanteneigenschaften aufweisen kann. Dabei zeigten sie, dass sie einen Zustand steuern und untersuchen konnten, in dem sich alle geladenen Teilchen in dem elektrischen

Schaltkreis verhalten, als seien sie ein einzelnes Teilchen, das den gesamten Schaltkreis füllt.

Dieses teilchenartige System ist in einem Zustand gefangen, in dem Strom ohne Spannung fließt – also einem Zustand, in dem es nicht über genügend Energie verfügt, um daraus zu entkommen. In dem Experiment wird der Quantencharakter des Systems dadurch deutlich, dass es ihm gelingt, dem spannungsfreien Zustand durch Tunneln und Erzeugen einer elektrischen Spannung zu entkommen. Die Preisträger konnten zudem zeigen, dass das System quantisiert ist, das heißt, Energie wird nur in bestimmten Mengen absorbiert bzw. emittiert.

John Clarke
Geboren 1942 in Cambridge, Vereinigtes Königreich
Professor an der University of California, Berkeley, USA

Michel H. Devoret
Geboren 1953 in Paris, Frankreich
Professor an der Universität Yale und der University of California, Santa Barbara, sowie leitender Wissenschaftler für Quanten-Hardware bei Google Quantum AI, USA

John M. Martinis
Geboren 1958 in Los Angeles, USA
Professor an der University of California und Technischer Direktor bei Qotab, USA



ERFAHREN SIE MEHR ÜBER DIE NOBELPREISE UNTER KVA.SE/EN

Weitere Informationen zum Nobelpreis für Physik 2025 erhalten Sie auf den englischsprachigen Seiten kva.se/nobelphysics2025 sowie unter nobelprize.org. Dort finden Sie zusätzliche Materialien über die Preisträger und ihre Forschung mit passenden Videos.



Tunneln

Ein Ball besteht aus einer astronomisch großen Anzahl von Teilchen. Wirft man ihn an die Wand, kann man sicher sein, dass er jedes Mal davon abprallt. Es wäre eine außerordentliche Überraschung, wenn der Ball plötzlich auf der anderen Seite der Wand auftauchen würde. In der Quantenmechanik wird dies als Tunneln bezeichnet und stellt genau die Art Phänomen dar, die der Quantenmechanik ihren Ruf als merkwürdige Theorie beschert hat.

Tunneleffekt in Atomen

Seit fast einem Jahrhundert ist Physiker*innen bekannt, dass für eine bestimmte Art des radioaktiven Zerfalls (Alpha-Zerfall) ein Tunneleffekt erforderlich ist. Dabei spaltet sich ein winziges Stückchen des Atomkerns ab und erscheint außerhalb des Kerns, obwohl Kräfte vorhanden sind, die eine Barriere bilden und die winzigen Kernpartikel umschließen.

Das Experiment

A In einem gewöhnlichen elektrischen Leiter stoßen die Elektronen mit anderen Elektronen und mit dem Material zusammen, wodurch ein elektrischer Widerstand entsteht.

B In einem Supraleiter können sich die Elektronen unisono wie ein einzelnes Teilchen verhalten, das den gesamten elektrischen Schaltkreis füllt. Die Quantenmechanik beschreibt diesen Zustand mittels einer gemeinsamen Wellenfunktion.

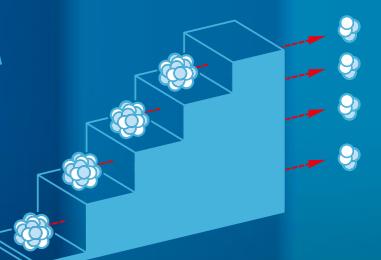
C Die Preisträger verwenden einen so genannten Josephson-Kontakt, bei dem zwei Supraleiter durch ein Isoliermaterial getrennt sind. Wär erstreckt sich die Wellenfunktion über die Lücke, die beiden Seiten interagieren aber in spezieller Weise. Genau dieser Zustand mit Milliarden von Elektronen ist der Beleg dafür, dass in dem Experiment ein Tunneln erfolgt.

D Der Josephson-Kontakt bildet in dem Experiment einen T-Kontakt. Die Wellenfunktion kann entweder in einem Zustand existieren, in dem Strom ohne Spannung fließt oder in einem Zustand, in dem eine Spannung vorhanden ist. Sie ist sozusagen hinter einer Art Energiebarriere gefangen. Wird eine Spannung gemessen, ist die Wellenfunktion durch die Barriere getunnelt.

Mikrowellen

Die Preisträger führten in ihrem Experiment Energie in Form von Mikrowellen zu und konnten zeigen, dass in dem Zustand, in dem Strom ohne Spannung fließt, genau wie im Inneren eines Atoms feste Energieniveaus vorliegen.

In mikroskopischen Prozessen ist die Energie in einzelne Pakete, so genannte Quanten, aufgeteilt (was der Quantenmechanik zu ihrem Namen verhalf). Hier wird die Quantisierung in einem makroskopischen System dargestellt.



Quantisierung

Ein quantenmechanisches System hinter einer Barriere kann schwankende Energiemengen aufweisen, aber nur bestimmte Mengen dieser Energie absorbieren bzw. emittieren. Das System ist also quantisiert. Ein Tunneln erfolgt eher bei einem höheren Energieniveau als bei einem niedrigeren.