



Diese Katze kann verschwinden, während ihr Grinsen sichtbar bleibt: Die Grinsekatz ist ein Lieblingstier der Quantenphysiker.

[NG Collector/Interfoto/picturedesk.com]

Physiker im Quanten-Wunderland

Experiment. An der TU Wien ist es gelungen, Teilchen von ihren Eigenschaften zu trennen. Das erinnert an die grinsende Cheshire Cat aus „Alice im Wunderland“.

VON REINHARD KLEINDL

Die Geschichte ist ein Klassiker: Die kleine Alice fällt in einen Kaninchenbau und findet einen Durchgang in eine ebenso surrealistische wie komische Welt. Weniger bekannt ist, dass der Autor Lewis Carroll Mathematiker und Geistlicher war, was sich im absurden Humor der Erzählung widerspiegelt. Eines der Wesen, das Alice trifft, ist eine sprechende Katze, deren Grinsen ein Eigenleben führt. Eine Katze ohne Grinsen habe sie schon gesehen, meint Alice, aber ein Grinsen ohne Katze?

Physiker um Yuji Hasegawa von der TU Wien haben nun ein Experiment durchgeführt, das starke Analogien zum Verhalten von Carrolls Grinsekatz aufweist. Sie experimentierten selbstverständlich nicht mit Katzen (obwohl auch diese immer wieder Gegenstand der Quantentheorie waren – siehe Schrödingers Katze, allerdings nur als Gedankenexperiment), sondern mit Neutronen.

Konkret haben die Forscher einen Neutronenstrahl durch einen Siliziumkristall geschickt. Der Strahl teilt sich dabei auf und wird am Ende der Versuchsanordnung wieder zusammengeführt. (Das nennt man ein Doppelspaltexperiment, siehe Lexikon.) Die beiden Strahlen werden unterschiedlich manipuliert, insbesondere verändern die Forscher den Spin der Neutronen, eine quantenmechanische Eigenschaft, die mit dem Drehimpuls verknüpft ist.

Was sie dann beobachten, ist verblüffend: Die Teilchen sind nur in einem der Strahlen zu finden, während ihr Spin nur im anderen Strahl nachweisbar ist. Der Spin verhält sich damit wie das Grinsen der berühmten Katze – er ist von den Teilchen, zu denen er eigentlich gehört, getrennt.

Immer nur ein Neutron auf dem Weg

Wie ist das zu verstehen? Es gibt immerhin zwei Teilchenstrahlen – ist der Spin nun auf die Teilchen des zweiten Strahls übertragen worden? „Nein, wir sprechen hier wirklich von einzelnen Neutronen“, erklärt Stephan Sponar von der TU Wien: „Es ist immer höchstens ein Neutron auf dem Weg.“

Diese Tatsache, dass einzelne Teilchen Welleneigenschaften haben und damit keine eindeutige Bahn, sodass sie mehrere Wege zugleich nehmen können, ist zentral für alle Doppelspaltexperimente, die eine lange Tradition in der Quantentheorie haben. (Die beiden Spalte teilen dabei den Strahl auf, analog zum Interferometer beim Neutronenexperiment.) Kaum ein Versuchsaufbau zeigt so prägnant, dass die Natur der Quantenphänomene unseren Erfahrungen aus dem Alltag fundamental widerspricht.

Das bekannteste Doppelspaltexperiment ist wohl Anton Zeilingers Arbeit mit Fullerenen, vergleichsweise großen fußballförmigen Molekülen aus Kohlenstoff. Jedes einzelne Teilchen scheint beide Spalte der Versuchsanordnung zu durchqueren. Ein verwirren-

den Gedanken, wobei man daran erinnern sollte, dass laut gängiger Interpretation der Quantentheorie die Teilchen überhaupt keinen eindeutigen Ort haben, solange dieser nicht explizit gemessen wird. „Hic sunt dracones“, wie es in alten Seekarten heißt: Hier gibt es Drachen, über diese Gegend wissen wir nichts.

Schwache Messung

Hat es dann überhaupt Sinn, wenn die Forscher erklären, das Teilchen „befinde sich“ auf einem der beiden Wege? „Doch, das können wir sagen“, sagt Yuji Hasegawa: „Wir können das Teilchen dort messen.“ Die Forscher haben dafür eine „schwache Messung“ durchgeführt, die das Teilchen nur minimal stört. Hasegawa gibt aber zu, dass die Wellenfunktion des Teilchens, das mathematische Objekt, mit dem man das Teilchen quantenmechanisch beschreibt, sehr wohl beide Wege nimmt.

LEXIKON

Das Doppelspaltexperiment ist eine Versuchsanordnung der Quantenoptik, bei der ein Strahl aus Teilchen auf eine Blende mit zwei schmalen Spalten gerichtet wird. Da jedes Teilchen auch Welleneigenschaften hat, tritt Interferenz auf.

Spin ist eine quantenmechanische Eigenschaft bestimmter Teilchen (Fermionen), die man sich als inneren Drehimpuls vorstellen kann – jedes Teilchen trägt gewissermaßen einen winzigen Kreisel in sich. Fermionen sind z. B. Elektronen und Protonen, aber auch Quarks und Neutrinos.

Diese Wellenfunktion „trägt“ gewissermaßen auch den Spin des Teilchens, der auf dem anderen Weg nachgewiesen wird. Welche Bedeutung die Wellenfunktion hat, ob sie ein reales Objekt ist oder nur ein mathematisches Hilfsmittel, darüber gibt es nach wie vor Diskussionen bei Physikern und Philosophen. Es spricht einiges dagegen, die Wellenfunktion als real zu betrachten.

Die Forscher um Hasegawa, Sponar und Erstautor Tobias Denkmayr haben jedenfalls mit ihrer Arbeit einen großen Wurf gelandet: Die Veröffentlichung in „Nature Communications“ ist mit großem Prestige verbunden. Sie sehen mögliche Anwendungen in Hochpräzisionsmessungen. Als Nächstes wollen sie herausfinden, ob sich mithilfe schwacher Messungen die Bahnen von Teilchen in Doppelspaltexperimenten vermessen lassen.

Die Forscher um Hasegawa, Sponar und Erstautor Tobias Denkmayr haben jedenfalls mit ihrer Arbeit einen großen Wurf gelandet: Die Veröffentlichung in „Nature Communications“ ist mit großem Prestige verbunden. Sie sehen mögliche Anwendungen in Hochpräzisionsmessungen. Als Nächstes wollen sie herausfinden, ob sich mithilfe schwacher Messungen die Bahnen von Teilchen in Doppelspaltexperimenten vermessen lassen.

Was ist schwache Messung?

Quantentheorie. Kann man ein System messen, ohne es zu zerstören? Ja, aber nur, wenn die Messung genügend ungenau ist.

Der Messprozess ist vielleicht das zentrale Mysterium der Quantenmechanik. Die Theorie erklärt präzise, welche Messwerte die Forscher erwarten können, wenn ein Quantensystem mit einem Messgerät oder einem anderen Teil der makroskopischen Welt interagiert. Wie diese Interaktion genau vonstattgeht, darüber macht die Theorie jedoch keine Aussage. Mehr noch: Die Theorie braucht die makroskopische Welt, eine Umwelt, die nicht nach den Regeln der Quantenmechanik funktioniert, und mit der das Quantensystem beim Messprozess wechselwirkt. Damit ist auch ausgeschlossen, dass die Quantentheorie die klassische Mechanik als genauere, bessere Beschreibung der Natur vollständig ablösen kann.

Erst seit knapp 20 Jahren ist der Messprozess selbst Gegenstand von Untersuchungen. Die Idee war, das Messgerät selbst als Quantensystem zu betrachten, das von außen mithilfe weiterer Messgeräte untersucht wird. Auf diese Weise gelang es, das Konzept der „schwachen Messung“ zu entwickeln.

Normalerweise ist die Messung ein gravierender Eingriff in ein Quantensystem: Die typischen Quanteneffekte – Verschränkungen, Interferenzen – werden beim Messprozess zerstört. Untersuchungen des Messprozesses haben aber gezeigt, dass eine genü-

gend „ungenau“ Messung, wenn der Messfehler groß genug ist, das System ungestört lässt. Eine solche Messung bezeichnet man als schwache Messung. Es ist also möglich, dem System Information zu entlocken, ohne dabei die Quanteneffekte zu stören.

Umstrittenes Konzept

Tatsächlich ist das Konzept der schwachen Messung nicht unumstritten: Es wurde behauptet, dass sich damit die Regeln der Quantenmechanik brechen ließen und Prinzipien wie die Heisenbergsche Unschärferelation umgangen werden kann. Das ist nicht der Fall: Alles passiert innerhalb der Regeln der Quantentheorie, wie auch Yuji Hasegawa und Stephan Sponar von der TU Wien betonen. Streng genommen handelt es sich bei schwachen Messungen nicht um Messungen im quantenmechanischen Sinn.

Die Diskussion dreht sich, wie so oft, allein um die Interpretation der Ergebnisse. Unabhängig davon ist die Tatsache, dass sich das Konzept nutzen lässt, um die Wechselwirkung zweier verschränkter Systeme (in diesem Fall Teilchen und Messgerät) zu kontrollieren. Etwaige technische Anwendungen von Konzepten wie der „Quanten-Grinsekatz“ werden von Interpretationsproblemen also nicht beeinflusst sein. (kl)

FORSCHUNGSFRAGE

VON ALICE GRANCY

Was ist Staub und woher kommt er eigentlich?

Keiner will ihn, aber er umgibt uns überall. Dabei gibt es durchaus auch nützlichen Staub.

Ob auf dem Fensterbrett oder unter dem Schreibtisch, ob privat oder beruflich: Staub ist ein ständiger Begleiter im Alltag. Meist stört er, ist aber allorts zu finden. Was genau wird als Staub bezeichnet? Gibt es flüssigen Staub? Und: Kann Staub auch gefährlich sein?

Eines gleich vorweg: Staub muss nicht immer trocken sein. Nur rund ein Viertel des Staubs ist fest. Meist ist Staub ein Aerosol, also ein Gemisch aus festen oder flüssigen Schwebeteilchen, das durch die Atmosphäre schwebt. Russ etwa ist eine solche Mischform und daher schmierig.

„Den‘ Staub gibt es nicht, sondern nur Staub in vielen Formen“, sagt Peter Sturm vom Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU Graz. Der Experte für Umwelttechnik führt etwa die Unterscheidung zwischen organischen und anorganischen Stoffen an. Organisch: Hautschuppen, Textilfasern oder Pollen. Anorganisch: Gesteinsstaub oder Staub aus Laserdruckern und Kopierern.

Auch eine Differenzierung nach der Quelle ist möglich. Natürlich vorhanden: Saharastaub oder Staub, der sich auf trockenen Ackerflächen bildet. Vom Menschen verursacht: Abrieb von Autoreifen oder Hausbrand.

Die Partikelgröße ist laut Sturm ein weiteres Kriterium. Denn nicht zuletzt ist es die Kleinheit, die den Staub gefährlich macht: Feinstaub heißt der Feind des Großstadtmenschen im 21. Jahrhundert. Er dringt weit in die Lunge vor und verursacht dort Reizungen und in der Folge Entzündungen. Staub transportiert aber auch chemische Stoffe, auf die der Körper „sauer“ reagiert. Und Säuren wirken mitunter sogar krebsfördernd.

Gibt es aber auch nützlichen Staub? Ja, den gibt es. Auch Meersalz wird wie andere Aerosole durch die Luft transportiert. Wer also am Ozean kräftig einatmet, nimmt mit dem Meersalz für die Atemwege positiv wirkende Partikel auf.

E-Mails an: wissen@diepresse.com

Gletscherschmelze: An zwei Dritteln ist der Mensch schuld

Innsbrucker Klimaforscher belegt Einfluss mit neuem Rechenmodell.

Schmelzende Gletscher stehen symbolisch für den Klimawandel: Der Meeresspiegel steigt, die saisonale Verfügbarkeit von Trinkwasser ändert sich, und sie können Auslöser von Naturkatastrophen sein. Als natürliche Ursache dafür gilt etwa veränderte Sonneneinstrahlung.

Dem Klimaforscher Ben Marzeion vom Institut für Meteorologie und Geophysik der Uni Innsbruck gelang es nun gemeinsam mit kanadischen Kollegen zu zeigen, wie weit der Mensch für das Abschmelzen der Gletscher mitverantwortlich ist: Von 1851 bis 2010 soll der vom Menschen verursachte Klimawandel zu rund einem Viertel zur Gletscherschmelze beigetragen haben. Der Anteil stieg und betrug in den vergangenen zwei Jahrzehnten bereits zwei Drittel, so die Forscher.

Sie betrachteten dazu alle Gletscher weltweit mit Ausnahme der Antarktis und berücksichtigten den Einfluss von natürlichen und menschlichen Faktoren. Möglich wurde das durch das erst seit Kurzem vollständige Randolph-Gletscherinventar, das Daten zu fast allen Gletschern der Welt bietet. (red.)