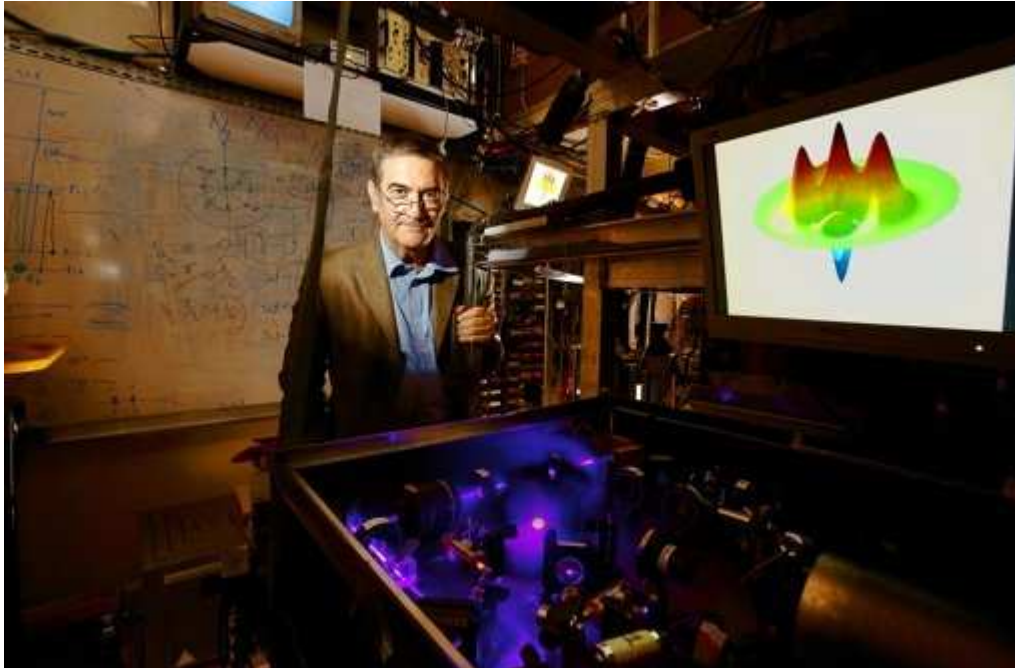


Physik-Nobelpreis**Die Zählung flüchtiger Quanten**

Rainer Klüting, 09.10.2012 17:05 Uhr



Serge Haroch sperrt in seinem Labor Photonen zwischen Spiegeln ein. Foto: CNRS/Christophe Lebedinsky

Stockholm/Stuttgart - Wenn Albert Einstein eine grundsätzliche Frage der Physik erläutern wollte, griff er gerne zu dem Mittel des Gedankenexperiments. In Gedanken bewegte er zum Beispiel zwei auf für ihn rätselhafte Weise miteinander verknüpfte atomare Teilchen weit auseinander und untersuchte dann ihr Verhalten. In Wirklichkeit lassen sich die Bausteine der Materie nicht so einfach isolieren und beobachten. Die Grundlagen für reale Experimente an einzelnen atomaren Teilchen wurden erst in den 1980er Jahren gelegt.

Zwei Pioniere des Jonglierens mit einzelnen Atomen, Ionen und Lichtquanten erhalten nun den Physik-Nobelpreis des Jahres 2012. Die königlich-schwedische Akademie der Wissenschaften verleiht den Preis „für grundlegende experimentelle Methoden, die Messungen und Manipulationen an einzelnen Quantensystemen möglich machen“ an den Franzosen Serge Haroche und den US-Amerikaner David J. Wineland. Die Physiker, beide Jahrgang 1944, haben es auf unterschiedlichen Wegen geschafft, einzelne Quantensysteme in raffinierten Fallen festzuhalten, für eine begrenzte Zeit zwar, aber ausreichend lange, die seltsamen Gesetze der Quantenwelt beobachtbar zu machen und Gedankenexperimente der Quantenphysik tatsächlich auszuführen.

Vor allem in den letzten 15 Jahren ist auf diesen Grundlagen ein blühendes Forschungsgebiet entstanden: die Quanteninformationsverarbeitung. Hier entstehen die Vorläufer dessen, was eines Tages ein Quantencomputer sein soll,

und zu Uhren, die mehr als hundertmal genauer gehen als die Cäsiumuhren, die heute in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig die Atomzeit vorgeben.

„Er ist ein großes Vorbild“

Einer, der beide Preisträger kennt, ist Tilman Pfau, Leiter des 5. Physikalischen Instituts der Universität Stuttgart, der selbst über die Wechselwirkung von Quantensystemen forscht. Haroche kennt er als Labornachbarn aus seiner eigenen Zeit Mitte der neunziger Jahre als Postdoc an der Pariser École Normale Supérieure (ENS), wo Haroche bis heute ist. Der Kollege, sagt Pfau, habe es immer verstanden, die Quantenphysik einer breiten Öffentlichkeit verständlich zu machen. Seine Vorträge seien „exzellent und kristallklar“, seine Experimente stets als anschaulich gemachte Gedankenexperimente angelegt. „Er ist ein großes Vorbild“, sagt Pfau.

Auch Wineland kennt er seit 15 Jahren; einer von Pfaus Doktoranden ist zu Wineland ans National Institute of Standards and Technology (NIST) in Boulder, Colorado gegangen, dem US-amerikanischen Gegenstück zur PTB, um dort mitzuarbeiten an einer hoch präzisen Quantenuhr. „Wineland ist ein akribischer Arbeiter im Labor. Er ist Theoretiker und experimenteller Visionär. Er hat den Riecher für das richtige Experiment und hat viele Experimente vorgeschlagen, lange bevor er sie dann selbst ausgeführt hat.“

Photonen zwischen Spiegeln

Haroche arbeitet nicht mit den Quanten des Lichts, sondern mit Mikrowellen. Er sperrt eine Mikrowelle zwischen zwei Spiegeln im Abstand von etwa drei Zentimetern ein. Zwischen diesen „glattesten Spiegeln der Welt“ (so das Nobelkomitee) wird das Mikrowellen-Photon hin und her reflektiert, bis zu einer Zehntelsekunde lang. Nach dieser für Quantenverhältnisse enorm langen Zeit hat das Photon eine Strecke zurückgelegt, die dem Umfang der Erde entspricht.

Zwischen die Spiegel schickt Haroche nun speziell präparierte Atome. Diese sogenannten Rydberg-Atome sind tausendmal so groß wie normale Atome, weil Elektronen der Atomhülle stark angeregt sind, so dass sie sich fast von dem Atom trennen. Diese sehr fragilen Atome reagieren empfindlich selbst auf das einzelne Photon zwischen den Spiegeln. Es entsteht eine Wechselwirkung, die es erlaubt festzustellen, ob da ein Photon ist. Mit einem ähnlichen Verfahren kann Haroche zählen, wie viele Photonen dort sind. Entscheidend ist, dass das Photon dabei eigentlich zerstört werden müsste. Doch genau das vermeidet Haroches Verfahren. Eine Messung an einem Quantensystem, ohne das System zu zerstören, ist eine Voraussetzung für die technische Nutzung von Quanteneffekten.

„Haroche hat diese Experimente immer wieder weiter vertieft und bis heute perfektioniert“, sagt Pfau. Viele Jahre lang habe er sich ein wissenschaftliches Wettrennen geliefert mit Herbert Walther, einem der Gründungsdirektoren des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik in Garching. Walther ist 2006 gestorben. Es sei immer klar gewesen, sagt Pfau, dass Haroche ein Kandidat für einen Nobelpreis auf diesem Gebiet gewesen sei.

Lasergekühlte Ionen

Winlands Arbeiten begannen eigentlich bei hochgenauer Zeitmessung. Dazu entwickelte er sich zum Spezialisten für präzise gesteuerte Laserpulse. Mit solchen Pulsen kann man nämlich einzelne Atome oder Ionen beschießen. Trifft man im richtigen Moment, bremst man damit ihre natürliche Wärmebewegung – man kühlt sie ab. Wineland setzte die Technik ein, um einzelne elektrisch geladene Atome oder Ionen abzukühlen, die er in einer Falle aus elektrischen Feldern gefangen hatte. Erst wenn die Gefangenen kühl sind, sich also kaum noch bewegen, kann ein Laserpuls sie mit der gewünschten, präzise eingestellten Energie manipulieren. Wineland schafft es so, ein geladenes Atom oder Ion in einen Zwischenzustand zu heben, wie es ihn außerhalb der Quantenräume nicht gibt. In der Alltagswelt liegt ein Ball entweder auf der einen Stufe einer Treppe oder auf der darüber oder darunter. Wineland schafft es, den Ball sozusagen nur halb anzuheben. Nun liegt der Ball in einem sogenannten Superpositions-Zustand. Sein Energiezustand ist beides zugleich: der obere und der untere.

Für den Quantencomputer werden solche Superpositions-Zustände gesucht, die präzise einstellbar sind. Denn während ein klassischer Computer in einer Informationseinheit, dem Bit, nur 0 oder 1 speichern kann, speichert ein Quantencomputer in einem „Qubit“ beides zugleich. Und er kann auch mit beidem rechnen. In einem Quantencomputer können im Prinzip in einem Arbeitsschritt mehrere Berechnungen parallel verlaufen. Einzelne Rechenmodule, sogenannte Gatter, aus Ionen habe Wineland bereits entwickelt, sagt Pfau. Zugleich aber nutzt er seine quantentechnischen Mittel, seiner Aufgabe treu zu bleiben: Er arbeitet an immer genaueren Uhren. Jedes Navigationssystem braucht präzise Zeitmessung. Wineland und seine Mitstreiter sind dabei, sie um das Hundertfache zu verbessern.

Photonenbändiger

Der Franzose Serge Haroche wurde 1944 in Casablanca (Marokko) geboren. Seine Doktorarbeit machte er an der Universität VI von Paris bei Claude Cohen-Tannoudji, der 1997 ein Drittel des Physik-Nobelpreises für die Methode der Laserkühlung bekommen hat. Haroche arbeitete als Professor an der Universität VI, dem Collège de France, den US-Universitäten Harvard und Yale, bevor er 1994 zur École Normale Supérieure (ENS) kam, wo er am Laboratorium Kastler Brossel forscht. Zu Forschungen hielt er sich auch in Konstanz, Mainz und Garching auf. Er hat zahlreiche Forschungspreise und 2009 einen der hoch dotierten European Research Grants (ERC) erhalten. Haroche ist verheiratet und hat zwei Kinder.

Ionenbändiger

Der US-Amerikaner David Jeffrey Wineland wurde 1944 in Milwaukee geboren. Er studierte in Berkeley und ging später nach Harvard. Auch er hatte einen berühmten Doktorvater: Norman Foster Ramsey, Physik-Nobelpreisträger von 1989, zusammen mit Hans Dehmelt, in dessen Labor an der staatlichen Universität von Washington Wineland arbeitete, bevor er ans National Institute of Standards and Technology (NIST) in Boulder ging. Wineland ist verheiratet und hat zwei erwachsene Söhne.