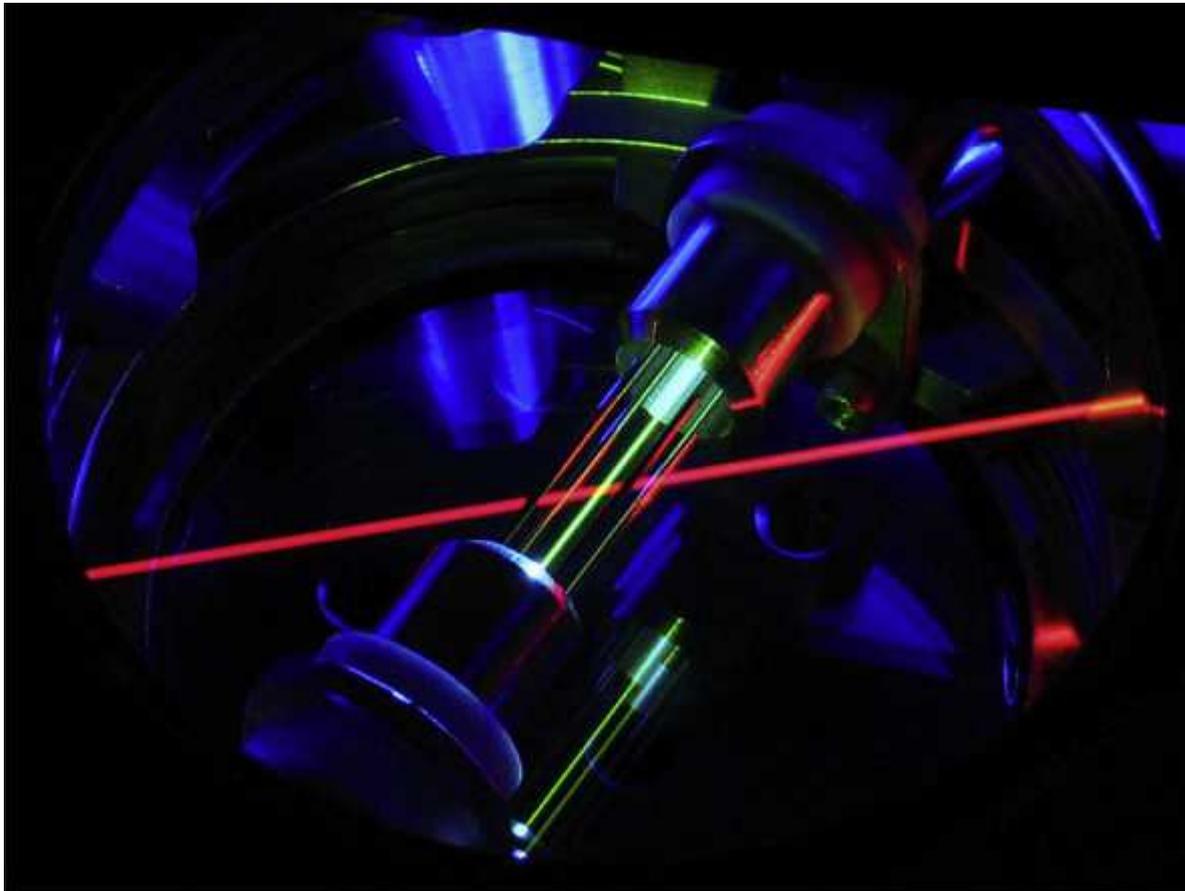


27. Oktober 2012

Rechnen für Multitasker

Der Quantencomputer soll die Grenzen der Computertechnik sprengen. Noch steckt er in den Kinderschuhen.



This RF ion trap holds individual thorium atoms while they are laser-cooled to near absolute zero temperature. (Click image for high-resolution version. Credit: Corey Campbell) Foto: Corey Campbell

Mit dem Quantencomputer ist zu rechnen. Zwar ist selbst unter Physikern noch umstritten, wie dieses erhoffte Rechengerät der Zukunft einmal aussehen wird. Erste Entwicklungen geben indes Anlass zu Hoffnung. Derzeit umfasst so ein Quantencomputer rund 14 sogenannte Quantenbits (Qubits), füllt einen großen Laborraum und muss von einem Physikerteam akribisch betreut werden. Doch – und hier ist die Analogie verblüffend – in den 1940er und 1950er Jahren sah es bei den ersten Computern noch genauso aus. Sie bestanden noch klobig aus großen Röhren. Mitarbeiterinnen mussten mechanische Schalter umlegen. Der erste Magnetdatenspeicher hatte noch die Größe eines Kinderbaumhauses. Und tatsächlich saß auch noch ein Mitarbeiter zur Bedienung in dieser Festplatte drin.

Die Anfänge der Computerei muten heute wie ein Kabinett technischer Kuriositäten an. Das Smartphone in der Hosentasche hat deutlich mehr Rechenpower wie der Großraumrechner oder der Nasa-Bordcomputer der Mondlandefähre vergangener Jahrzehnte. Und die Entwicklung geht weiter. "Vielleicht haben wir auch bald einen Quantenlaptop auf dem Schreibtisch stehen", sagt Jörg Wrachtrup, Physiker an der

Universität Stuttgart.

Nun haben sich die Menschen an immer weitere Fortschritte bei Computern, dem Internet und der mobilen Kommunikation gewöhnt. Bleibt die Frage, was bringt so ein Quantencomputer prinzipiell Neues. Der Physiker gibt ein einfaches Beispiel: "Bei einer Suchanfrage etwa über Google wird nacheinander jede gespeicherte Webseite nach dem Suchbegriff durchkämmt. Der Quantencomputer durchsucht alle Webseiten gleichzeitig."

Mehr simultane Werte

als Atome im Universum

Diese extreme Parallelität des Rechnens zählt zu den Besonderheiten des Quantencomputers. Jedes Qubit zusätzliche Rechenkapazität steigert die Geschwindigkeit exponentiell. Der Grund: Herkömmliche, binäre Speichereinheiten, die Bits, werden dadurch gebremst, dass sie nur zwei mögliche Zustände annehmen können: 0 oder 1. Quantenbits, sprengen diese Grenzen, sie

besitzen beide Zustände gleichzeitig. Zwei Quantenbits haben alle Zustände von 0 bis 4, mit nur 300 Qubits lassen sich deshalb simultan mehr Werte darstellen, als es Atome im Universum gibt.

Damit lösen die neuen Rechner schon mal ein fortwährendes Problem im Informationszeitalter: Die Datenmengen steigen an, immer höhere Rechenleistungen sind gefragt. Kurz: Die Computer müssen leistungsfähiger und schneller werden.

In aktuellen Computern sind die Strukturbreiten von Transistoren gerade einmal 22 Nanometer (Millionstel Millimeter). Würde man die Miniaturisierung der vergangenen Jahre und Jahrzehnte fortschreiben, käme man in 15 Jahren bei Strukturgrößen eines Atoms an – und wäre genau da, wo Quantenphysiker Wrachtrup jetzt forscht: in der Welt der Atome und Quanten.

Auch zwei andere Probleme löst nach Ansicht des Physikers der Quantencomputer: Energieverbrauch und Sicherheit. Waren erste Mikrochips gerade mal handwarm, so werden sie heutzutage heißer als Herdplatten und müssen aufwändig über Luft- oder Wasserkühlung auf Arbeitstemperatur gehalten werden. Längst sind Kühlaggregate und -räume der Serverfarmen etwa von Google, Facebook oder Amazon größer als die eigentlichen Rechnerräume.

Rechner sind Energiefresser. Global ist die IT-Branche (vom Großrechner bis zum Handy) für vielleicht vier Prozent der Kohlendioxidemissionen verantwortlich. Das ist immerhin doppelt so viel wie die Klimalast durch den gesamten Luftverkehr. Der Quantencomputer erzielt seine Rechenleistung nicht durch bei hohen Taktraten glühende elektrische Transistoren, sondern durch die Parallelität der Berechnungsmöglichkeiten in der Quantenwelt.

Das Thema Sicherheit beim Quantencomputer hat zwei Seiten. Zum einen sind gängige Verschlüsselungsverfahren, etwa die bei Kontotransaktionen, leichter zu knacken. Um den 1024 Bit langen Code für ein Bankkonto zu entschlüsseln, braucht ein Hacker hochgerechnet 100 Jahre. Der Quantencomputer hätte – theoretisch – alle Kombinationen in Tagen bis Wochen durchprobiert. Doch noch stecken Quantencomputer in den Kinderschuhen, sie sind zu leistungsschwach und zu teuer für Spielereien mit dem Paypal-Konto des Nachbarn.

Sicherheitsexperten sind indes auf der Hut. Sie müssten sich im Zeitalter der Quantencomputerei neue Verschlüsselungstricks ausdenken. Andererseits kann die Quantenphysik den Datenaustausch auch sicherer machen, da aufgrund bestimmter quantenphysikalischer Prinzipien das Abhören von Informationen unmöglich ist oder eben sofort auffliegt.

Davon ist die Forschung noch weit entfernt. Der Weltrekord des Innsbrucker Forscherteams um den Physiker Rainer Blatt liegt heute bei 14 Qubit. Jedes Qubit wird durch ein eingefangenes, geladenes Kalziumatom repräsentiert. Laserstrahlen kühlen die Ionen in einer Vakuumapparatur auf Temperaturen ganz nahe dem absoluten Temperaturnullpunkt bei minus 273 Grad Celsius ab. Weitere Laserstrahlen präparieren die Ionen, die dann beispielsweise nicht nur die Werte 0 oder 1 der klassischen IT einnehmen, sondern beide Quantenwerte gleichzeitig. Fachleute sprechen von Superposition, einer Überlagerung beider Zustände.

Die Grundlagen für diese Ionenfallentechnik hat vor über zehn Jahren der amerikanische Physiker David Wineland gelegt, der gemeinsam mit seinem französischen Kollegen Serge Haroche den diesjährigen Physiknobelpreis zugesprochen bekam. Wineland hatte gezeigt, wie sich einzelne Berylliumionen mit Laserstrahlen in den Zustand der Superposition bringen lassen. Mit einem gezielten Lichtpuls regt der Forscher ein Ion genau mittig zwischen Grundzustand und angeregtem Zustand an. Nun muss sich das Ion entscheiden, ob es in den Grundzustand zurückfällt oder in den angeregten Zustand übergeht. Quantenphysikalisch entspricht dies nun der Superposition beider Zustände. Derart präpariert, konnten die Physiker dieses entscheidende Merkmal der Quantenphysik, die Superposition, genau untersuchen.

Mit diesen überlagerten Ionenzuständen lässt sich rechnen. Um Verschlüsselungen zu knacken oder in großen Datenbanken zu suchen, sind aber Hunderte bis Tausende Qubits vonnöten. "Auf Anwendungen wie die Faktorisierung von großen Zahlen werden wir noch einige Zeit warten müssen", erklärt Blatt. Je mehr Ionen nämlich zu kontrollieren sind, desto instabiler wird der Rechenprozess.

Eine andere Strategie wählen Jörg Wrachtrup und sein Team an der Universität Stuttgart. Sie stehen derzeit bei neun Qubit. "Das ist lausig wenig", erklärt Wrachtrup. Doch fühlt er sich auf dem richtigen Weg. Denn während konkurrierende Arbeitsgruppen mit Ionen bei tiefen Temperaturen und im Hochvakuum experimentieren, arbeitet er mit Diamant bei Raumtemperatur. Damit sieht sich Wrachtrup anwendungsreifen Techniken deutlich näher. "Der Quantencomputer der Zukunft besteht ganz sicher aus diesem Material", ist der Physiker überzeugt.

In dem regelmäßigen Kristallgitter eines Diamantplättchens erzeugen die Forscher durch Stickstoffbeschuss gezielt Defekte: Ein Stickstoffatom verdrängt ein Kohlenstoffatom von dessen Gitterplatz. Der Stickstoff gibt dem Diamanten einen rötlichen Schimmer. Findet sich noch eine Fehlstelle, ein Loch, in der Nachbarschaft, so kann der Stickstoff-Loch-Defekt ein Elektron binden. Dieses gebundene Elektron lässt sich mit einem Laser manipulieren – es repräsentiert das Qubit.

In einem europäischen Forschungsprojekt wollen die Forscher die Zahl der miteinander verbundenen Qubits im Diamanten weiter steigern. Bei einer Zahl von 20 hätten sie eine kritische Größe erreicht. Damit könne man schon gut rechnen, sagt Wrachtrup. Der Vorteil des Edelsteins ist auch, dass sich die Defekte und die Qubits im Material sehr stabil

verhalten. Daher funktioniert das Quantenprinzip auch bei Raumtemperatur. Das Rennen um die beste Hardware ist eröffnet.

Autor: Martin Schäfer