

Zwei Ionen im Gatter

Experimente mit einzelnen Elektronen oder Atomen durchzuführen, hielt Erwin Schrödinger 1952 für so abwegig, dass er schrieb: „In thought-experiments we sometimes assume that we do; this invariably entails ridiculous consequences“. Doch nachdem es Werner Neuhauser 1979 in Heidelberg gelang, ein einzelnes Ba^+ -Ion in einer Paul-Falle zu präparieren und mit eigenen Augen zu sehen [1], ist aus Gedankenexperimenten längst Realität geworden. Inzwischen wurden und werden zahlreiche Experimente an einzelnen Ionen in Fallen durchgeführt, die der Erforschung grundlegender Fragen der Quantenphysik dienen.

Daneben sind aber auch praktische Anwendungen in den Mittelpunkt des Interesses gerückt, nachdem Ignacio Cirac und Peter Zoller 1995 erkannten, dass sich zu einer Kette aufgereichte Ionen in einer Falle für die Quanten-Informationverarbeitung nutzen lassen [2]. Als elementare Schalteinheit, als sog. Qubit, das dem Bit in einem klassischen Computer entspricht, werden dabei zwei interne Zustände eines Ions $|0\rangle_E$ und $|1\rangle_E$ genutzt, z. B. der elektronische Grundzustand und ein metastabiler angeregter Zustand. Ein Quantencomputer, der mit diesen Qubits rechnet, ist in der Lage, bestimmte Aufgaben drastisch effizienter zu lösen als ein klassi-

scher Computer. Ein beliebiger Quanten-Algorithmus lässt sich aus Ein-Qubit-Operationen sowie Operationen mit mindestens zwei Qubits zusammensetzen, wobei die gemeinsame Schwingungsbewegung der Ionen in der Falle die bedingte Dynamik zwischen einzelnen Qubits ermöglicht.

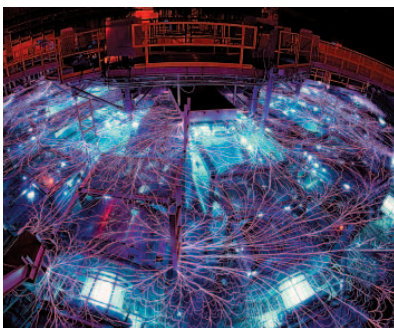
Nachdem es Ende letzten Jahres gelungen war, den sog. Deutsch-Jozsa-Algorithmus mit einem einzelnen Ion in einer Falle zu implementieren – dabei wurden die beiden Qubits durch interne Zustände bzw. die Schwingungsbewegung dargestellt [3] –, wurde kürzlich ein weiteres *Highlight* auf dem Weg zu einem Quantencomputer erreicht: Sowohl die Arbeitsgruppe von Rainer Blatt in Innsbruck als auch diejenige von David J. Wineland in Boulder, USA, realisierten Quantengatter mit zwei Ionen [4, 5].

Die Innsbrucker Gruppe verwirklichte ein Controlled-NOT-Gatter mit zwei individuell adressierten Ca^+ -Ionen entsprechend dem Vorschlag von Cirac und Zoller, wobei die elektronischen Zustände $|S_{1/2}\rangle \equiv |0\rangle_E$ und $|D_{5/2}\rangle \equiv |1\rangle_E$ als Qubit dienen. Je nach Wert eines Kontroll-Qubits ($|1\rangle_E^K$ bzw. $|0\rangle_E^K$) invertiert dieses Gatter ein Ziel-Qubit oder lässt es unverändert.

Dazu wird im ersten Schritt der Zustand des Kontroll-Qubits auf den eines quantisierten harmonischen Oszillators – die Schwingungsbewegung der gesamten Ionenkette – abgebildet, welcher

Fusion in der Z-Maschine

Physikern am Sandia National Laboratory in New Mexico ist es gelungen, an ihrer „Z-Maschine“ Neutronen nachzuweisen, die bei der Fusion von Deuterium zu Helium entstanden sind. Kernstück des rund 30 m großen und mit Wasser gefüllten Experiments ist ein Zylinder von der Größe eines Fingerhuts aus 360 dünnen Wolframdrähten. In seinem Inneren sitzt eine 2 mm große Deuterium-Kapsel. Mit einem kurzen Strompuls wird die gewaltige elektrische Energie von 12 MJ in die Drähte deponiert, die dadurch schmelzen



und ein Plasma bilden. Das mit dem Entladungsstrom einhergehende Magnetfeld führt zu einer Selbstkompression des Plasmas (Z-Pinch) und zur Erzeugung eines intensiven Röntgenpulses.

Trifft dieser auf die Kapsel, so entsteht eine Stoßwelle, die die Kapsel innerhalb von 7 ns auf einen Durchmesser von $160\ \mu\text{m}$ komprimiert und auf fast 12 Millionen K aufheizt – genug für das Einsetzen der Fusion. Das Foto zeigt Lichtblitze im Wasser, die durch elektrische Verluste entstehen. (Foto: SNL)