

Q 51 Quantencomputer

Zeit: Mittwoch 15:00–18:00

Raum: HI

Q 51.1 Mi 15:00 HI

Noise Resistant Quantum Algorithm using Triggered Single Photons from a Single Quantum Dot — •MATTHIAS SCHOLZ¹, THOMAS AICHELE², SVEN RAMELOW¹, and OLIVER BENSON¹ — ¹Humboldt-Universität zu Berlin, Physics Department, Nano-Optics, Hausvogteiplatz 5-7, D-10117 Berlin, Germany — ²CEA / Université J. Fourier, Laboratoire Spectrométrie, Grenoble, France

In recent years, wide attention has been drawn to the implementation of quantum algorithms by solely using linear optics. This approach is appealing since only standard optical components like beam splitters and phase shifters are used. Previous experimental demonstrations along this line focused on coherent photon states from attenuated laser pulses or spontaneous parametric down-conversion in order to simulate simple quantum algorithms or to demonstrate concepts of noise resistant quantum computation. We demonstrate the on demand operation of a quantum algorithm using a triggered single-photon source. As a first implementation, we choose the two-qubit Deutsch-Jozsa algorithm which often served in the past to demonstrate the applicability of a certain physical system to a particular quantum computational task. Our experimental setup resembles a classical Mach-Zehnder interferometer. A variation of our experimental setup enables us to implement ideas of noise tolerant encoding of qubits in a triggered quantum algorithm on the single-photon level. Thereby, we prove its adaptability to common all-optical quantum computation schemes. It is possible to encode the qubits in a way that they are unaffected by phase noise which is the main noise contribution in optical interferometric setups.

Q 51.2 Mi 15:15 HI

Optimal strategies for fusing optical cluster states — •KONRAD KIELING^{1,2} and JENS EISERT^{1,2} — ¹QOLS, Blackett Laboratory, Imperial College London, Prince Consort Road, London SW7 2BW, UK — ²Institute for Mathematical Sciences, Imperial College London, 48 Prince's Gardens, London SW7 2PE, UK

We investigate and solve the problem of how to optimally build up cluster states for quantum computing with linear optical means using fusion gates, entirely from the perspective of classical control. We develop a notion of classical strategies and identify the optimal one to prepare linear cluster states with probabilistic gates. We find that this globally optimal strategy gives rise to an advantage of more than an order of magnitude in the number of maximally entangled pairs already when building chains with an expected length of $L = 100$, compared to another strategy that could equally well be thought as being optimal. For two-dimensional cluster states, we present a proof of global optimality of the asymptotic behavior in the resources. This analysis shows that the choice of appropriate classical control may lead to a very significant reduction in resource consumption.

Q 51.3 Mi 15:30 HI

Quantum computation and quantum simulations with 2D Coulomb crystals — •DIEGO PORRAS and J. IGNACIO CIRAC — Max-Planck Institut für Quantenoptik, Hans-Kopfermann-Str. 1, Garching, D-85748, Deutschland

Trapped ions in equilibrium arrange themselves in ordered structures known as Coulomb crystals. In the case of Penning traps, ions can be confined in a single plane, and form a triangular lattice. Since a large number of ions can be confined in this experimental set-up, 2D Coulomb crystals in Penning traps are a naturally scalable system for quantum information processing with ions.

In this work we present the following results: (i) Quantum gates can be implemented between nearest ions in Penning traps by coupling internal states to the axial (perpendicular to the plane) motion. (ii) In a realistic range of parameters, the coupling with other vibrational degrees of freedom induces an error in the gate, which, however, is below the limit for fault tolerant quantum computation. (iii) Ions in a Penning trap also allow us to perform quantum simulations of spin models in a triangular lattices, which offers us unique possibilities for studying many-body effects, like quantum frustration and quantum phase transitions in 2D.

Q 51.4 Mi 15:45 HI

Construction and characterization of irreversible Quantum Cellular Automata — •TORSTEN FRANZ — Institut für Mathematische Physik, TU Braunschweig

The computational properties of reversible automata have been subject of much research in the last years. One of the most promising model for an universal model for universal BQP (bounded error quantum probabilistic) computation is the reversible quantum cellular automaton.

There are examples in which irreversible operations are helpful for quantum computation, such as the one-way quantum computer and the initialization of registers by cooling. The extension to irreversible QCAs is also necessary to study the propagation of noise and decoherence in such systems. We show how to construct some classes of irreversible QCAs and discuss to what extent the local irreversible transition mechanism can be reconstructed from the input/output behavior of the automaton.

— 30 min. Pause —

Q 51.5 Mi 16:30 HI

Simulation und Optimierung des Ionen transports in einer segmentierten Paul-Falle — •KILIAN SINGER, STEPHAN A. SCHULZ und FERDINAND SCHMIDT-KALER — Abteilung für Quanten-Informationsverarbeitung,

Segmentierte Ionenfallen sind vielversprechende Systeme zur Realisierung eines skalierbaren Quantencomputers [1]. Eine der elementaren Operationen stellt hierbei der Transport von Ionen innerhalb der Fallenstruktur dar. Dabei sollte der Transport schnell erfolgen. Allerdings steigt damit auch die Anzahl ungewollter Schwingungsanregungen. Es wird gezeigt, wie durch den Einsatz von Methoden aus der "Optimum Control"-Theorie [2] Schwingungsanregungen trotz hoher Transportgeschwindigkeit minimiert werden können.

[1] D. Kielpinski, C. Monroe, and D. J. Wineland, *Nature* **417**, 709 (2002)
[2] T. Calarco, U. Dörner, P. S. Julienne, C. J. Williams, and P. Zoller, *Phys. Rev. A* **70**, 012306 (2004).

Q 51.6 Mi 16:45 HI

Segmentierte Mikrostruktur-Paul-Fallen — •STEPHAN A. SCHULZ, KILIAN SINGER und FERDINAND SCHMIDT-KALER — Universität Ulm, Abt. Quanteninformationsverarbeitung, Albert-Einstein-Allee 11, 89069 Ulm

Quantenrechner auf der Basis von segmentierten Mikrostruktur-Paul-Fallen mit gefangenen Ionen als Qubits stellen einen skalierbaren Ansatz zur Realisierung komplexer quantenlogischer Rechenoperationen dar [1]. Aufgrund der Segmentierung der Fallengeometrie wird eine räumliche Aufteilung in Prozessor- und Speicherregion erreicht. In der Prozessoreinheit ermöglicht dies eine präzise Manipulation von Ionenkristallen mit nur wenigen Qubits, gleichzeitig werden die restlichen Qubits im Speicher gehalten [2-5].

Durch die elektrische Ansteuerung der Fallensegmente können Ionen in der Falle bewegt werden. Wir stellen realistische Designs, Feldberechnungen und numerische Optimierungen für eine Ein- und Zwei-Chip-Mikrofalle vor. Wir diskutieren den Transport einzelner Ionen zwischen verschiedenen Fallenregionen auf der Grundlage realistischer Fallenpotentiale.

[1] D. Kielpinski, C. Monroe, D.J. Wineland, *Nature* **417**, 709 (2002).
[2] J. Chiaverini et al., *Quant. Inf. Comput.* **5**, 419 (2005).
[3] J.P. Home, A.M. Steane, *quant-ph/0411102* (2004).
[4] M.J. Madsen et al., *Appl. Phys. B* **78**, 639 (2004).
[5] W.K. Hensinger et al., *quant-ph/0508097* (2005).

Q 51.7 Mi 17:00 HI

Quantum simulator for the $O(3)$ nonlinear sigma model — •SARAH MOSTAME and RALF SCHÜTZOLD — Technische Universität Dresden, Institut für Theoretische Physik, D-01062 Dresden

We propose a design for the construction of a laboratory system based on present-day technology which reproduces and thereby simulates the quantum dynamics of the $O(3)$ nonlinear sigma model. Apart from its relevance in condensed-matter theory, this strongly interacting quantum field theory serves as an important toy model for quantum chromodynamics (QCD) since it reproduces many crucial properties of QCD.

Q 51.8 Mi 17:15 HI

Die Ionenfalle als analoger Quantencomputer — ●HECTOR SCHMITZ, AXEL FRIEDENAUER, STEFFEN KAHRA und TOBIAS SCHÄTZ — MPI für Quantenoptik, Hans-Kopfermannstr. 1, 85748 Garching

Klassische Computer nutzen den inherenten quantenmechanischen Charakter der Natur nicht aus. Wie deshalb schon R. Feynman erkannte, muss man zur effizienten Simulation von Quantensystemen solche verwenden. Dabei ist eine Umsetzung in einen Algorithmus für stroboskopische Gatter möglich, aber nicht notwendig. Ein maßgeschneidertes System, das sich dem zu simulierenden Pendant in seiner Zeitentwicklung analog verhält, im Labor realisierbar und in allen zu simulierenden Parametern frei kontrollierbar ist, stellt weniger Anforderungen an die Fidelitäten der Einzeloperationen und sollte bereits für eine vergleichsweise kleine Anzahl an Qbits (≥ 30) klassischen Computern überlegen sein.

Wir folgen in unserem experimentellen Ansatz einem Vorschlag von Porras und Cirac[1]: Mit einer Ionenfalle sind robuste Effekte wie Phasenübergänge in Spinsystemen simulierbar und die Wechselwirkungen in Stärke und Reichweite variierbar. Repräsentativ ist z. B. das Quanten-Ising-Modell. Denkbar ist, dass die Ergebnisse unserer Machbarkeitsstudie in Folge zu einem besseren Verständnis von Phänomenen wie der Hochtemperatur-Supraleitung führen können.

Unterstützt von: MPQ, DFG

[1] Phys. Rev. Lett **92**, 207901 (2004)

Q 51.9 Mi 17:30 HI

A quantum algorithm for optical template recognition — ●GERNOT SCHALLER and RALF SCHÜTZHOLD — Institut für Theoretische Physik, Zellescher Weg 17, 01069 Dresden, Germany

We propose a probabilistic quantum algorithm [quant-ph/0512057], that decides whether a monochrome pattern on a sensitive array matches a given template (or one out of a set of templates). As a major advantage to classical pattern recognition, the algorithm just requires a few incident photons. In the best case, a single photon may suffice. Thus, the algorithm is suitable for very sensitive pictures - similar to the Elitzur-Vaidman problem.

We have numerically simulated a quantum computer with 18 qubits to demonstrate the applicability of the algorithm and to analyze its tolerance against perturbations of the quantum pattern. The major advantage to classical pattern recognition however is already present for smaller numbers of qubits.

Q 51.10 Mi 17:45 HI

RF-Spektroskopie einzelner Ytterbium-Ionen — ●A. BRAUN¹, C. BALZER², C. WUNDERLICH² und W. NEUHAUSER¹ — ¹Institut für Laser-Physik, U. Hamburg — ²Fachbereich Physik, U. Siegen

Wir untersuchen $^{172}\text{Yb}^+$ -Ionen in einer linearen Paulfalle mit Hilfe eines RF-optischen Doppelresonanz-Experiments: Die Ionen werden in den $m_j = \pm 3/2$ Zeemanzuständen des $^2D_{3/2}$ Niveaus durch optisches Pumpen mit π -polarisiertem Licht bei 935 nm präpariert (Übergang $^2D_{3/2} \leftrightarrow [3/2]_{1/2}$). Kohärente RF-Übergänge zwischen den $m_j = \pm 3/2$ - und $m_j = \pm 1/2$ -Zuständen werden induziert und die Population der $m_j = \pm 1/2$ -Zustände durch Nachweis von Resonanzfluoreszenz bei 369 nm ($^2S_{1/2} \leftrightarrow ^2P_{1/2}$) bestimmt.

Mit dieser Methode kann bei bekanntem Magnetfeld der Landé-Faktor g_j des $D_{3/2}$ -Zustands bestimmt werden. Dies ist aufgrund der Diskrepanz zwischen theoretischem ($g_j = 4/5$) und experimentellem Wert ($g_j = 1.802$) interessant. Andererseits erlaubt die Messung bei bekanntem g_j eine genaue Kalibrierung des Magnetfeldes am Orte des Ions.

Das Anlegen eines statischen Magnetfeldgradienten ermöglicht die Adressierung einzelner Qubits im Frequenzraum. Darüber hinaus führt der Gradient zu einer Kopplung der inneren und äußeren Freiheitsgrade, welche für bedingte Quantendynamik benötigt wird [1]. Mit Hilfe der Doppelresonanz-Spektroskopie wird ein Gradient des Magnetfeldes charakterisiert. Der aktuelle Stand des Experiments im Hinblick auf die Kopplung von internen und externen Freiheitsgraden wird vorgestellt.

[1] F. Mintert, Chr. Wunderlich, PRL, **87**, 257904 (2001); Chr. Wunderlich, Chr. Balzer, Adv.At.Mol.Opt.Phys. **49**, 293 (2003)