

## Q 59: Quantum Information: Atoms and Ions IV / Photons and Nonclassical Light II

Time: Friday 10:30–12:45

Location: E 214

Q 59.1 Fr 10:30 E 214

**Storage and recall of single photon level pulses with an efficiency of 25%** — ●ANDREAS WALTHER, MAHMOOD SABOONI, FELIX BEAUDOIN, LIN NAN, ATIA AMARI, MAOMAO HUANG, and STEFAN KRÖLL — Department of Physics, Lund University, P.O. Box 118, SE-22100 Lund, Sweden

We demonstrate experimentally a quantum memory scheme for the storage of weak coherent light pulses in an inhomogeneously broadened optical transition in a  $\text{Pr}^{3+}$ : YSO crystal at 2.1 K. Precise optical pumping using a frequency stable (about 1kHz linewidth) laser is employed to create a highly controllable Atomic Frequency Comb (AFC) structure. We report single photon storage and retrieval efficiencies of 25%, based on coherent photon echo type re-emission in the forward direction. The coherence property of the quantum memory is proved through interference between a super Gaussian pulse and the emitted echo. Backward retrieval of the photon echo emission has potential for increasing storage and recall efficiency.

Q 59.2 Fr 10:45 E 214

**Atom-Photon-Interfaces for Single-Photon Generation and Storage** — ●GUNNAR LANGFAHL-KLABES<sup>1</sup>, PETER NISBET<sup>1</sup>, JEROME DILLEY<sup>1</sup>, GENKO VASILEV<sup>2</sup>, DANIEL LJUNGGREN<sup>3</sup>, and AXEL KUHN<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Clarendon Laboratory, Parks Road, Oxford, OX1 3PU, UK — <sup>2</sup>Dept. of Phys., Sofia University, Bulgaria — <sup>3</sup>Dept. of Appl. Physics, KTH Stockholm, Sweden

*Single atoms* coupled to high-finesse cavities provide a unique way to deterministically generate a stream of single photons with MHz bandwidth and arbitrary pulse shape allowing for reversible state mapping. *Hot atomic ensembles* enable the generation, delay, storage and retrieval of single photons by manipulating an EIT control field.

In our lab we aim to generate single photons from a cavity using vacuum-stimulated Raman scattering, store them in a vapour cell, and check the retrieved photons for the preservation of their coherence properties. Generation and storage will utilise a  $\Lambda$ -type scheme connecting two Zeeman sub-levels in  $^{87}\text{Rb}$ .

We report on the latest status of an atomic fountain as a  $^{87}\text{Rb}$  source that will lead to atom-cavity interaction times of up to 5 ms, a cavity for single-photon generation that has parameters well in the strong coupling regime, and a  $^{87}\text{Rb}$  vapour cell for photon storage.

A new scheme for Custom Photon Shaping [1,2] is additionally presented.

[1] Vasilev, G. *et al.* Phys. Rev. A 80, 013417 (2009)[2] Vasilev, G. *et al.* arXiv:0906.1989v1 [quant-ph]

Q 59.3 Fr 11:00 E 214

**Quantum interference of photon pairs emitted by two remotely trapped atoms** — ●JULIAN HOFMANN<sup>1</sup>, CHRISTOPH KURZ<sup>1</sup>, MICHAEL KRUG<sup>1</sup>, FLORIAN HENKEL<sup>1</sup>, WENJAMIN ROSENFELD<sup>1</sup>, MARKUS WEBER<sup>1</sup>, and HARALD WEINFURTER<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>Fakultät für Physik der Ludwigs-Maximilians-Universität, München — <sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching

Entanglement of two remotely trapped atoms is a key element in long distance quantum communication - leading to applications like quantum repeaters and a future loophole-free test of Bell's inequality. One method to entangle two remote atoms is entanglement-swapping. A basic requirement for this protocol is quantum interference of photon pairs on a beam-splitter, where each photon is entangled with an atom respectively.

So far we demonstrated atom-photon entanglement generation in two independent experiments as well as long distance atom-photon entanglement distribution [1,2]. In order to achieve two photon inference with high fidelity both experiments have to be synchronised on a sub-nanosecond timescale.

Here we report on recent progress towards quantum interference of photon pairs emitted by two independent atoms and progress towards verification of atom-atom entanglement.

**Group Report**

Q 59.4 Fr 11:15 E 214

**Einzelphotonenquellen auf Basis von Farbzentren in Diamant** — ●DAVID STEINMETZ, ELKE NEU, CHRISTIAN HEPP, ROLAND ALBRECHT, JANINE RIEDRICH-MÖLLER und CHRISTOPH BECHER —

Technische Physik, Universität des Saarlandes, D-66123 Saarbrücken

Unter den Realisierungen praktikabler Einzelphotonenquellen für die Quanteninformation sind Farbzentren in Diamant vielversprechende Kandidaten: Als „künstliche Atome“ bieten sie die Vorteile der Langzeit-Stabilität und schmaler Emissionslinien bei Raumtemperatur, sowie die Möglichkeit zur Kopplung an Resonatorstrukturen zur Verbesserung der Emissionseigenschaften.

Wir stellen Untersuchungen an Si- und Ni-basierten Farbzentren vor. Letztere emittieren bei Raumtemperatur bei einer Wellenlänge von 810 nm mit einer Linienbreite von nur  $\approx 2$  nm. Dabei werden Sättigungszählraten von 69 kcounts/s erreicht, die Intensitätsautokorrelation bestätigt mit  $g^{(2)}(0) = 0,1$  zweifelsfrei einzelne Emittoren.

Darüber hinaus diskutieren wir zwei Ansätze zur Kopplung einzelner Farbzentren an Mikro-Resonatoren. Zum einen wurden faserbasierte Fabry-Pérot-Resonatoren aus einem Planspiegel und einer beschichteten, laserprozessierten Faserfacette realisiert, deren Vorteil darin besteht, dass sie durchstimmbare und automatisch fasergekoppelt sind. In einem zweiten Ansatz realisieren wir Mikroresonatoren in diamantbasierten photonischen Kristallen. Mittels eines fokussierten Ionenstrahls (FIB) wird die optimierte Resonatorgeometrie in eine nanokristalline Diamantmembran geätzt. Der gemessene Gütefaktor  $Q \approx 100$  ist maßgeblich durch die Absorption des Diamantfilms limitiert.

Q 59.5 Fr 11:45 E 214

**Erzeugung gequetschter Lichtfelder mit einer Bandbreite von über 1 GHz** — ●STEFAN AST, AIKO SAMBLOWSKI, HENNING VAHLBRUCH und ROMAN SCHNABEL — Max-Planck Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein Institut), Institut für Gravitationsphysik, Leibniz Universität Hannover, Callinstr. 38, D-30167 Hannover

Für die Quantenkommunikation können kontinuierliche Variablen verwendet werden, um einen Quantenschlüssel mittels gequetschter Lichtfelder zu übertragen. In der Quantenkryptographie hängt die erreichbare Datenrate sowohl vom Quetschgrad, als auch von der Bandbreite des Feldes ab. Zur Erzeugung eines breitbandig gequetschten Feldes wurde der Prozess der optisch parametrischen Verstärkung innerhalb eines Resonators verwendet. Dieser Resonator besaß zur Erhöhung der Pumpleistung eine hohe Finesse bei 532 nm. Für eine quasi unbeschränkte Bandbreite des gequetschten Feldes bei 1064 nm hatte der Resonator bei dieser Wellenlänge jedoch eine verschwindende Finesse. Es wurde im Experiment erstmals ein gequetschtes Feld mit mehr als 1 GHz Bandbreite erzeugt und mittels Homodyndetektion detektiert.

Q 59.6 Fr 12:00 E 214

**Preparation of high fidelity single photons from waveguided parametric down-conversion** — ●KAISA LAIHO, KATIUSCIA N. CASSEMIRO, and CHRISTINE SILBERHORN — Max Planck Institute for the Science of Light, Günther-Scharowsky-Straße 1/ Bau 26, D-91058 Erlangen

Single-photon sources play an important role in several quantum optical applications. Practical sources should meet the demands of high brightness, fidelity and efficiency. Parametric down-conversion offers a possibility to prepare and manipulate photonic states in a controlled way through heralding. However, spectral correlations between the twin beams and higher photon-number contributions can decrease the fidelity of the prepared single photon.

We experimentally study the suitability of a conventional waveguided PPKTP source for producing single-photon Fock states in combination with spectral filtering. The employed method enables a direct determination of the fidelity of the prepared state. We examine the spectral overlap between the heralded state and an independent reference with HOM interference. In addition, the contributions of higher photon-number components are characterized by reconstructing the statistics of the heralded state. Our results show that we prepare a single photon state with the fidelity of 78%.

Q 59.7 Fr 12:15 E 214

**Radiometrische Kalibrierung von Einzel-Photonen Detektoren** — ●WALDEMAR SCHMUNK, SILKE PETERS, MARK RODENBERGER, HELMUTH HOFER und STEFAN KÜCK — Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, Germany

Die rasche technische Weiterentwicklung von Einzelphotonenquellen und -detektoren ist mitverantwortlich für die Fortschritte in der Quan-

tentechnologie innerhalb der letzten Jahre. In diesem Kontext gewinnt eine metrologische Charakterisierung solcher Einzelphotonenemitter und -detektoren sowie eine Rückführung auf bestehende Standards, wie das Kryoradiometer, zunehmend an Bedeutung.

Im folgenden wird eine radiometrische Methode aus dem Bereich der fasergekoppelten Detektoren vorgestellt, mittels derer die relative Quanteneffizienz von Single-Photon Avalanche Dioden (SPAD) kalibriert werden kann. Bei dieser Methode ist die explizite Kalibrierung von optischen Elementen im Strahlengang nicht erforderlich. Die momentan erreichte Standardmessunsicherheit liegt bei ca. 0,02. Für die Kalibrierung werden nicht-klassische Photonquellen mit verschiedenen  $g^2(0)$ -Werten (0,1 bis 0,9) und Photonraten (40000 *cps* bis 450000 *cps*) verwendet, die auf der Basis der laserinduzierten Fluoreszenz von Stickstoff-Fehlstellen-Zentren in Nanodiamanten beruhen. In der vorliegenden Arbeit werden die Messergebnisse präsentiert und das Messunsicherheitsbudget diskutiert. Außerdem wird der Einfluss der Mehrfachphotonenprozesse auf die Kalibrierungsergebnisse und die Reproduzierbarkeit der Messung betrachtet sowie ein Ausblick auf die Realisierung einer absoluten Rückführung gegeben.

Q 59.8 Fr 12:30 E 214

**Quantum Combinatorics** — ●MALTE TICHY<sup>1</sup>, MARKUS TIERSCH<sup>2</sup>, FERNANDO DE MELO<sup>3</sup>, FLORIAN MINTERT<sup>1</sup>, and ANDREAS

BUCHLEITNER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Physikalisches Institut, Universität Freiburg, Hermann-Herder-Str. 3, 79104 Freiburg im Breisgau, Germany — <sup>2</sup>Institute for Quantum Optics and Quantum Information, Austrian Academy of Sciences, Technikerstr. 21A, A-6020 Innsbruck, Austria — <sup>3</sup>Instituut voor Theoretische Fysica, Katholieke Universiteit Leuven, Celestijnenlaan 200D, B-3001 Heverlee, Belgium

Interference effects relying on the identity of two photons find an important application in linear-optics based quantum information processing. Here we report on the statistical behavior of an arbitrary number of photons which scatter through a (Bell) multiport beam splitter. In doing so, we consider the realization probability of all possible final arrangements of the photons in the output ports. A versatile predictive law for the suppression of output configurations, hence a generalization of the Hong-Ou-Mandel effect of two photons, is derived. It is furthermore shown to apply for the majority of all possible events. Such multiparticle interference effects dominate at the level of single transition amplitudes, while a generic bosonic signature can be observed when the average number of occupied ports and the typical number of photons per port is considered. The results allow to classify in a common approach several recent experiments and theoretical studies and disclose many accessible quantum statistical effects involving many photons.