

## 光と原子の間の量子情報ネットワークの実現

上妻幹旺

東京工業大学 大学院理工学研究科

### 1. 研究のねらい

光は最も速い情報の担体であるが、互いに相互作用をしないという欠点をもつ。一方、原子は互いに相互作用をするが、情報の担体にはむかない。本研究の目的は、こうした相補的な特徴をもつ二つの系間において量子情報を自由にやりとりする技術を構築することにある。

### 2. 研究成果と考察

#### <光の真空スクイズド状態の原子集団への転写、保存、そして再生>

図1にみられるような3準位原子系を考える。C 数とみなせるような強いコントロール光を入力すると、原子集団のプローブ光に対する吸収が消失する。これを電磁誘起透明化(EIT)と呼ぶ。吸収の消失と同時に鋭い屈折率分散が発生するため、入射したプローブ光パルスは超低速度で原子集団中を伝播し、空間的に圧縮されることになる。プローブ光パルスが完全に原子媒体中に局在したときにコントロール光を遮断すると、プローブ光がもつ量子情報を原子集団のスピンの情報に変換し保存することができる。再度コントロール光を照射すれば、逆過程が誘起され、元のプローブ光が再生される。真空スクイズド状態に対して上記のプロセスを実現すれば、原子集団がもつスピンノイズを標準量子限界以下に圧搾することが可能となる。さらに、真空スクイズド状態を二つ重ね合わせることで生成されるツインビームを離れた二つの原子集団に照射して同様の実験を行えば、完全に deterministic な形で原子の量子テレポーテーションを実現することもできる。我々は、PPLN 導波路を用いて、Rubidium の D1 線 (795nm) において真空スクイズド状態を生成した。発生したスクイズド状態を Rubidium ガスが封入されたガラスセルに入射し、さらにコヒーレント状態のコントロール光を照射することで、真空スクイズド状態に対する電磁誘起透明化現象を世界で初めて確認することに成功した。図2にみられるように、コントロール光を遮断した場合には、スクイズド状態が Rubidium ガスによって吸収され、スクイズングが観察されなかったが、コントロール光を照射すると EIT によってスクイズングが復活した。

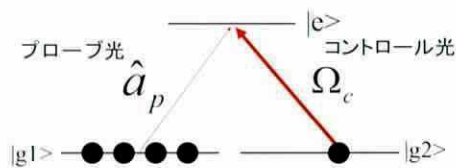


図1 電磁誘起透明化の原理図

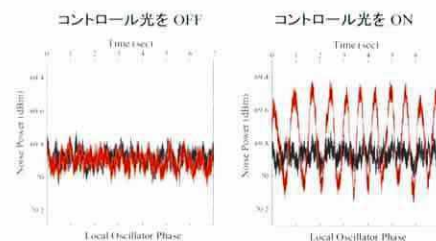


図2 真空スクイズド状態のEIT

#### <原子集団を用いた単一光子状態の生成、原子集団と単一光子間におけるエンタングルメントの生成>

図3のように予めハイパーファインポンピングされた原子集団に C 数とみなせるような光を照射すると Anti-stokes Raman 過程がおこる。この際、ある特定の空間モードに射出された単一の光子を検出すると、原子の symmetric collective mode を1つ励起することができる。原子系のデコヒーレンス時間内であれば、Stokes Raman 過程を誘起するような光を照射することで、好きな時刻に単一光子を取り出すことが可能となる。このようにして発生した単一光子が、実は原子集団との間に

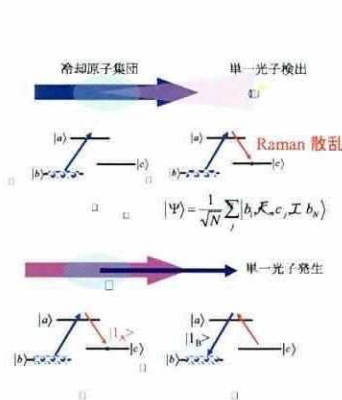


図3 原子集団を用いた単一光子状態の生成

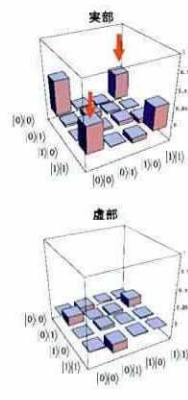


図4 16基底による量子トモグラフィ

軌道角運動量のエンタングルメントをもつことを、我々は世界で初めて確認することに成功した。この研究によって、多次元のエンタングルメントを原子集団と単一の光子との間で共有できる可能性がでてきた。この成果は、量子情報処理だけでなく、イラスト状態の生成といった物性研究の重要性ももっており、今後大きく展開する可能性が高い。

### 3. 謝辞

本さがけ研究を遂行するにあたり御指導いただきました花村榮一研究総括、領域アドバイザーの先生方に心から感謝いたします。また「光と制御」領域事務所の吉谷川貢技術参事、千田義彦事務参事、川嶋淳子様、鈴木晴美様はじめ事務所の皆様、JST 本部関係各位に深く感謝します。最後になりましたが、ここにまとめました数々の実験成果は、ポスドクの宇佐見康二博士はじめ、赤松大輔君、秋葉圭一郎君、金井紀文君、高橋純一君、谷村崇仁君、井上遼太郎君、横井芳彦君、柏木孝介君、米原健矢君ら研究室の全メンバーの努力の結晶だと思っています。この場をかりて深く感謝致します。ありがとうございます。

本さがけ研究を遂行するにあたり

### 4. 主な発表

#### 学術論文

- (1) K. Akiba, D. Akamatsu, and M. Kozuma, "Frequency-filtered parametric fluorescence interacting with an atomic ensemble", **Optics Communications** (25 October 2005 より web 上にて公開, 紙面による出版近日中).
- (2) D. Akamatsu, K. Akiba, and M. Kozuma, "Electromagnetically induced transparency with squeezed vacuum", **Phys. Rev. Lett.** **92**, 203602(2004).

#### 招待講演

- (1) M. Kozuma, D. Akamatsu, K. Akiba, T. Tanimura, Y. Yokoi, "Quantum Information Processing and Quantum Memory: Exerimental Approach from Atomic Physics", International Quantum Electronics Conference 2005 (Nippon Toshi Center, Japan ), 11-15 July 2005.
- (2) M. Kozuma, "Communication of quantum information between light and atoms", ESF-JSPS Frontier Science Conference Series for Young Researchers, Quantum Information and Quantum Physics (Shonan Village Center, Japan), 12-18 March 2005.
- (3) M. Kozuma, "Ultra-slow propagation of squeezed vacuum by using electro-magnetically induced transparency", Japan German Colloquium 2004 on Quantum Optics (Wildbad Kreuth, Germany), 9-12 February 2004.

### 5. その他

#### 受賞

東工大挑戦的研究賞 平成17年1月:

“真空スクイーズド状態の原子アンサンブルへの転写と再生”