

補助事業番号 2022M-204

補助事業名 2022年度 量子通信デバイス利用を目的とした高頻度エンタングルド光子ペア源の新奇手法開発に関する 補助事業

補助事業者名 北野健太

1 研究の概要

超蛍光とは量子多体系による発光現象で、高強度な光パルスを放出する現象として認知されている。本研究では、冷却ルビジウム原子を研究対象として超蛍光を実現し、輻射場の量子性を解明する。特に、量子もつれ光子ペア(エンタングルド光子ペア)を発生させる事が可能な物理系を設計し、その上で、超蛍光による輻射場の増強を利用して、高頻度なエンタングルド光子ペア源を開発する。本研究は、冷却ルビジウム原子を用いた実験と併せて、加熱したガスセル内に封入したルビジウム原子を対象とした実験も実施する。これらは、数密度という観点で相補的な知見を与える事ができる。

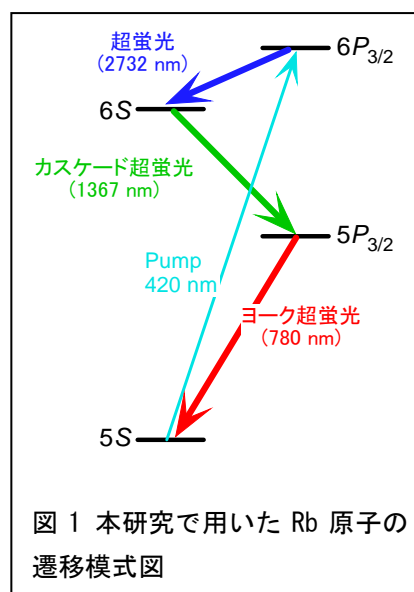
2 研究の目的と背景

現在のインターネット社会において、通信時の安全性はRSAと呼ばれる公開鍵暗号方式によって担保されている。しかし、このRSA暗号に基づくセキュリティシステムは量子コンピュータの実現によって解読される。この問題を根本的に解決するため、量子力学の原理に基づいた量子通信システムを構築する事が待望視されている。量子ビットの候補には様々な種類があるが、有力候補の一つが、量子もつれ状態にある光子ペア(エンタングルド光子ペア)である。伝送の観点で他候補を凌駕するものの、既存の方法を用いたエンタングルド光子ペアの発生頻度は、100 Mbit/s程度であり、伝送に伴うロスを考慮すると、実際に実現できるのは100 kbit/s程度である。そのため、現在のLANの典型値1 Gbit/sとの間には四桁も開きがある。そこで、新奇手法を開発する事で、エンタングルド光子ペアの発生頻度を飛躍的に向上させることが社会的な課題である。

3 研究内容

(1) 冷却原子を用いたエンタングルド光子ペアの発生実験に関する進捗

二次元磁気光学トラップと呼ばれる手法を用いて楕円球の冷却原子集団を捕獲する事ができる。この場合、超蛍光は長軸に沿って両側に放出される。特に、励起光ペアを用いる事によって、両側に放射される光子ペアがエンタングルすると期待される。このような着想の下、本研究を実装するために最適な真空装置を設計した。現在は製作段階にある。



(2) ガスセルを用いた非線形超蛍光現象の解明実験に関する進捗

図1に本実験で用いたルビジウム(Rb)原子の遷移模式図を示す。加熱したガスセル中にフェムト秒レーザーを照射する事によって非線形超蛍光現象を実現し、放射される全ての光に関して、和周波発生分光法を用いて、高い時間分解能で実測した。図2に実験、およびシミュレーション結果を示す。超蛍光とカスケード超蛍光は、段階的に起こっている。一方、カスケード超蛍光とヨーク超蛍光は時間的に一部オーバーラップしている事が分かる。この事は、カスケード超蛍光とヨーク超蛍光を用いて、エンタングルド光子ペアを生成できる事を示唆しており、冷却原子へと研究を展開する上で重要な知見である。

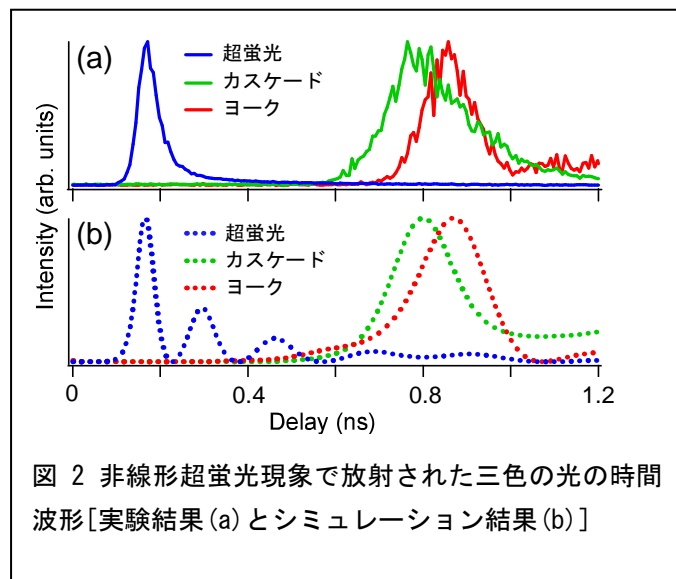


図 2 非線形超蛍光現象で放射された三色の光の時間波形[実験結果 (a) とシミュレーション結果 (b)]

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究によって、様々な量子多体光デバイスを開発できる。その一例が高頻度なエンタングルド光子ペアである。他にも超蛍光による増強現象を利用すれば、非古典光に適用可能な量子信号増幅器(量子アンプ)を実現できる可能性がある。このような独創性の高い量子光デバイスは、来るべき量子通信ネットワークにおけるキーデバイスとなる事が期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究は、青山学院大学において、2022年より着手した研究テーマである。今回の研究期間(2022.4～ら2023.3)において、数多くの基礎的な知見を得ることができ、また、新しい展開を見出すことができた。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

K. Kitano and H. Maeda, "Cascade and yoked superfluorescence detected by sum frequency generation spectroscopy", *Opt. Lett.*, **48**, 69 (2023).

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

該当項目はございません。

(2)(1)以外で当事業において作成したもの
該当項目はございません。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 青山学院大学理工学部(アオヤマガクインダイガクリコウガクブ)

住 所： 〒252-5258

神奈川県相模原市中央区淵野辺5-10-1

担 当 者： 助教 北野健太(ジョキョウ キタノケンタ)

担 当 部 署： 物理科学科(ブツリカガクカ)

E - m a i l: kkitano@phys.aoyama.ac.jp

U R L: <http://www.phys.aoyama.ac.jp/~maeda/kitano.html>