



TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE
1-3 KAGURAZAKA, SHINJUKU-KU,
TOKYO 162-8601, JAPAN
Phone: +81-3-5228-8107

2018 年 10 月 24 日

報道関係各位

光量子コンピュータのための高性能光源を実現
～量子干渉効果を利用して‘無条件にもつれた光子’を発生させる～

東京理科大学

研究の要旨

東京理科大学理学部第一部物理学科（理学研究科物理学専攻）佐中薫准教授のグループは、量子コンピュータなどの量子情報技術において重要な役割を果たす‘量子もつれ’【注1】とよばれる状態を、光の粒子状態である光子を量子干渉【注2】させる方法により無条件で発生させることに成功しました。波長選択や遅延選択などの検出方法に依存しない‘無条件にもつれた光子’を発生させるために非線形光学過程【注3】を利用する方法が知られていましたが、これまでは発生効率の低い非線形光学過程を使うしかありませんでした。研究グループでは非線形光学過程で発生した光子を量子干渉させることで、従来の方法より2ケタ以上高い発生効率で、この‘無条件にもつれた光子’を発生させることに成功しました。このような光源はもつれた光子を大量に必要とする光量子コンピュータの開発などにおいて、重要な要素技術になります。本研究成果はNature Publishing Group (NPG)のオープンアクセス電子ジャーナル「Scientific Reports」に10月24日付けで掲載されます。報道解禁日時は日本時間で10月24日（水）午後6時となります。本研究は光科学技術研究振興財団からの研究助成を受けて行われました。

【研究の背景】

1990年代からこの量子力学の原理を暗号や計算機などの情報技術への応用に積極的に利用しようという提案がなされるようになり、この分野を総称して量子情報と呼ぶようになりました。量子情報では超伝導や光学的手法により、計算機能力の飛躍的な向上を可能とする量子コンピュータなどの次世代情報技術の実現が期待されています。近年に入ってグーグル、マイクロソフト、IBMといった米国の巨大企業および米国行政機関が量子コンピュータの研究開発を重要視して相次いで本格的に参入し、また様々な量子情報関連のスタートアップ企業も立ち上がってきたことで、米国のみならず欧州および日本などで量子情報の理論・実験研究が活発になっている状況です。

【研究成果の概要】

量子情報において光・電磁場エネルギーの最小単位である光子を利用する方法は、光の特色の一つである強い干渉効果（コヒーレンス）を利用できることから最も有望な手法の一つであると考えられています。また光は地面に対して横に振動する水平偏光と、縦に振動する垂直偏光の二つの偏光状態をもっています（図1）。本研究ではこの水平偏光と垂直偏光が量子情報における量子ビットを担う二値となり、二つの光子間において偏光状態に関する量子もつれを発生させます。

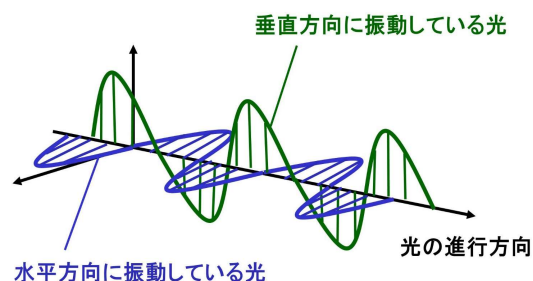


図1 偏光した光が進行する様子

青色波長のレーザー光を非線形光学結晶に照射すると、非線形光学過程を経てそのレーザー光の一部は近赤外波長の光に変換されます。この過程を光の粒子像でみると、一つの青色波長の光子が一組の近赤外波長の光子対に変換されることとなります。このときタイプIIとよばれる波長変換方式の非線形光学過程を選んだ場合、発生する光子対の偏光状態は直交しており、片方の光子の偏光が水平であるならもう片方の光子の偏光は必ず垂直になります。この偏光状態が直交した光子対とサニャック型とよばれる光干渉計を組み合わせると、波長選択や遅延選択などの検出方法に依存しない‘無条件にもつれた光子’を発生させることができます。しかしこのタイプIIの波長変換方式による非線形光学過程では、青色波長の光子から近赤外波長の光子対への変換効率が低く、もつれた光子を小さな確率でしか発生させることができません。

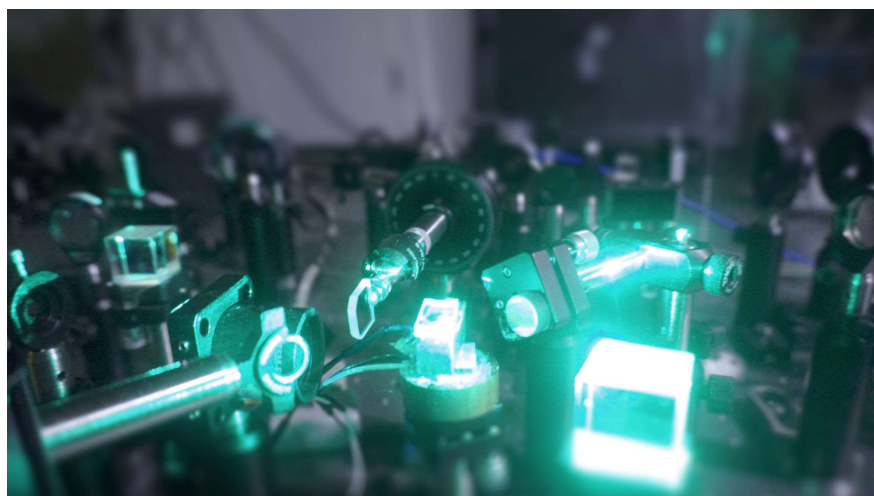


図2 ‘無条件にもつれた光子’発生装置の外観

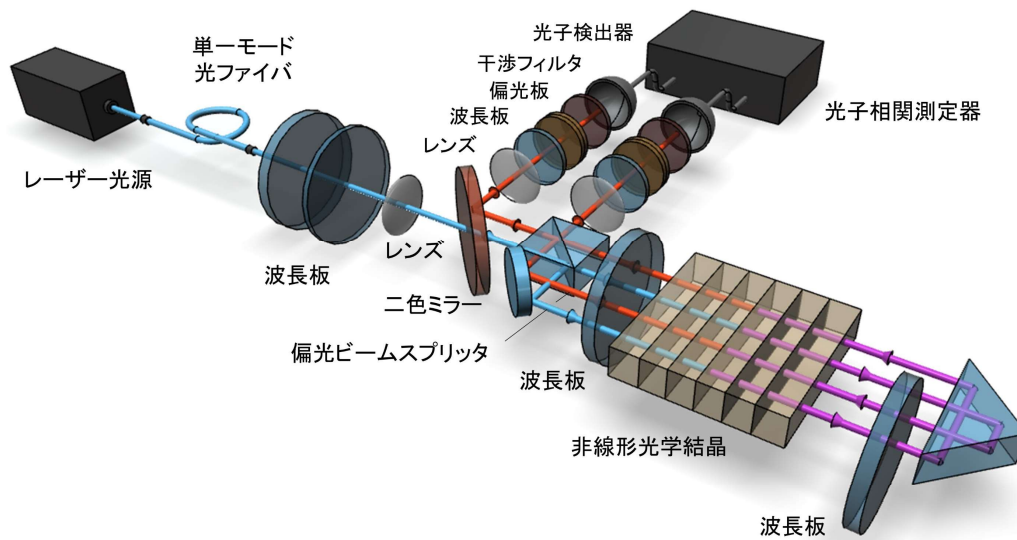


図3 ‘無条件にもつれた光子’発生装置の配置

これに対して本研究ではタイプ0と呼ばれる波長変換方式の非線形光学過程を選び、サニャック型干渉計に非線形光学結晶を配置します(図2, 図3)。タイプ0による波長変換方式の非線形光学過程で発生する光子対はすべて同じ偏光状態となるため、一般にこの方式では‘無条件にもつれた光子’を発生させることはできません。しかし本研究ではレーザー光が非線形光学結晶を2度通過する配置をとることにより、最初に発生した光子対と次に発生した光子対との間で、量子干渉をおこすことができることに注目しました。サニャック型干渉計内の波長板を適度な位置に調整すると、その量子干渉効果により最終的に干渉計から出力される光子対は、タイプIIの場合と同じように偏光状態が直交している状態にすることができます。本研究ではこのサニャック型干渉計を時計回り、および反時計回りの方向に発生した光子対を組み合わせることで、‘無条件にもつれた光子’をタイプ0の波長変換方式の非線形光学過程で発生させることに成功しました。

この方法で発生したもつれた光子対を量子トモグラフィーという手法で観測し、偏光を基底とした密度行列とよばれる値を算出しました(図4)。これらのデータから十分な信頼度を伴った偏光状態に関してもつれた光子対が発生していることが確認されました。また非線形光学過程の波長変換効率の違いから計算した結果、我々の手法で発生させた‘無条件にもつれた光子’は従来の手法に比較して、少なくとも2ケタ以上の発生効率の改善が得られることがわかりました。

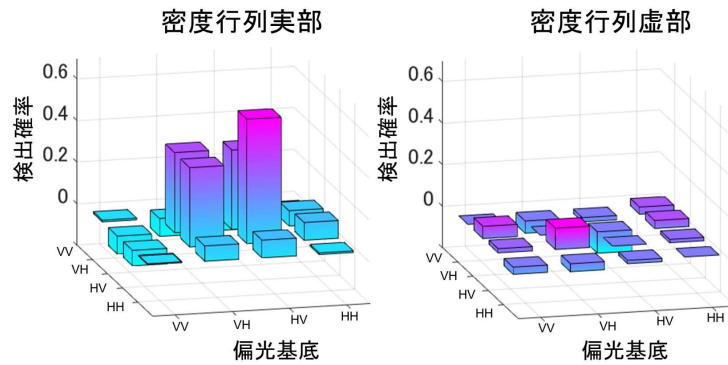


図4 量子トモグラフィで算出した‘無条件にもつれた光子’の密度行列

【今後の展望】

我々が実現した高性能のもつれた光子の光源は、量子暗号システムにおける暗号鍵の配送効率を飛躍的に高めることができるほか、広帯域波長のもつれた光子による精密計測技術への応用、および大量のもつれた光子をリソースとする光量子コンピュータの開発に結びつくことが考えられます。

用語

- 【注1】 量子もつれ・・・量子力学における非局所的な相関作用。量子コンピュータにおいては量子ビット間の演算を担うゲート操作のためのリソースとなる。
- 【注2】 量子干渉・・・通常の一光子干渉とは異なる複数の光子間の干渉。量子化された電磁場でしか説明ができない。
- 【注3】 非線形光学過程・・・光の強度に依存した光学応答現象。光増幅や光スイッチ、および光波の波長変換や波面ひずみの補正などに利用される。

～本件に関するお問い合わせ～

東京理科大学 研究戦略・産学連携センター

〒162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3

TEL : 03-5228-7440 FAX : 03-5228-7441

E-MAIL : ura@admin.tus.ac.jp