

| | |
|--------------|---|
| Title | Experimental Four-Photon Entangled State and Linear Optical Quantum Computation |
| Author(s) | 徳永, 裕己 |
| Citation | 大阪大学, 2007, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/48823 |
| rights | |
| Note | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。 |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

| | |
|------------|---|
| 氏名 | 徳 永 裕 己 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博 士 (理 学) |
| 学位記番号 | 第 2 1 5 8 7 号 |
| 学位授与年月日 | 平成 19 年 9 月 26 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科物理系専攻 |
| 学位論文名 | Experimental Four-Photon Entangled State and Linear Optical Quantum Computation (4 光子エンタングル状態の生成と線形光学量子計算) |
| 論文審査委員 | (主査) 教授 井元 信之 (副査) 教授 占部 伸二 教授 北川 勝浩 |

論 文 内 容 の 要 旨

量子コンピュータを実現する方法として、クラスター状態と呼ばれる特殊なエンタングル状態を事前に用意してそれに対して 1 量子ビット測定を行っていくことで計算を進めることができる one-way 量子計算という手法が注目されている。

今回、まず我々はそのクラスター状態を 4 光子において生成する方式を提案した (PRA, 2005)。この方式は、パラメトリック下方変換による光子対、線形光学素子、および光子検出器等、現在ある装置によって構成されており、また安定にかつ高確率で生成できるよう工夫されている。

次に、生成されたエンタングル状態が目的の状態に近いかどうかを判定するための検証方式を提案した (PRA, 2006)。これにより、忠実度が 75%を超えていると既存の知られている他種の 4 光子エンタングルメントと明確に区別できることが分かった。

そして、実際に 4 光子クラスター状態を生成する実験を行い、忠実度 86%を超える高精度のクラスター状態が得られた。これにより、初めて他種の 4 光子エンタングル状態と区別できるような高精度の 4 光子クラスター状態が得られることを示した。

さらに、この 4 光子クラスター状態をリソースとして使い、one-way 量子計算の実装実験を行った。代表的な基本演算を行い、その出力の忠実度が、古典的に (エンタングルメントがない状況で) 得られる最大の忠実度を超えていることを示した (CLEO/QELS'07 発表済、PRL2008)。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

量子コンピューティングは量子力学特有の遠隔相関であるエンタングルメントを利用して従来計算量的に不可能であった巨大整数素因数分解等の計算を実現するものである。最近新しい量子コンピューティングの方法として「クラスター状態」と呼ばれるエンタングル状態を光あるいは物質で実現し、それを用いる「一方向量子コンピュー

ティング」が注目されており、特に光子系でクラスター状態を造ってデモを行う研究がなされている。これまで Max Planck 研究所から 4 光子クラスター状態の発生とゲート動作デモの Nature の報告があるが、発生は 74% の忠実度しか達成されておらず、それが本当に古典的に達成できないことなのか否かを明らかにする理論もなかった。

本研究ではまず(1)忠実度の高い 4 光子クラスター状態を発生する簡単な方法を発案 (2005Phys. Rev. A) するとともに、(2)「忠実度が 75%を越さなければクラスター状態とは言えない」ことを理論的に導いた (2006Phys. Rev. A)。また、(3)提案(1)の実証実験を行い、忠実度の世界記録 86%を達成した。また(4)線形光学を用いる 4-qubit 一方向量子ゲートの実証実験を行い (CLEO/IQEC'07 発表済、2008PRL)、(5)その結果得られた出力の忠実度が古典的には達成できない領域にあることを理論的にも初めて示した (CLEO/IQEC'07 発表済、2008Phys. Rev. Lett.)。

本研究の扱う「光子クラスター状態を用いた一方向量子コンピューティング」の研究は世界有数の研究機関が Nature や Phys. Rev. Lett. を舞台に激しい競争を繰り広げる最先端分野であるが、その中であってまず理論的には、干渉計の安定化が不要でかつ現在のところ効率が最高値を示す発生法を提案した点、従来の実験結果が真にエンタングルメントによる説明を必要とする領域にあるか否かを判定する方法を与え、必ずしもそのような領域にはなかったことを明らかにした点が、他の研究には見られない新規な考察結果を与えている。また実験的には、Type II のパラメトリック下方変換により得られる 4 光子エンタングル状態を用いて上記理論提案を自ら実証する実験を行い、上記判定条件を満たすクラスター状態を初めて実行し、それを用いた一方向量子コンピューティングの非古典性判定条件を満たす実証実験まで遂行した点で、このテーマで世界をリードする研究結果を示したと言える。

以上、光子クラスター状態を用いた一方向量子コンピューティングという競争下にある重要な研究において一歩先を行く実験結果を達成し、そのための裏付けを与え今後も有用となる理論ツールを自ら開発しており、博士 (理学) の学位論文として価値のあるものと認める。