

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 佐中 薫

序

本論文は7章からなる。第1章は序論にあてられ、第2章は光のエンタングル状態についての概説とその実験的な実現方法としてのパラメトリック下方変換について解説している。第3章では、擬似位相整合法による高効率パラメトリック下方変換、すなわち効率的にエンタングルした光を作り出す光源開発、およびその特性解明などが記述されている。第4章は、ここで開発した光源により、フランソン型の実験配置で二光子強度相関測定を行った結果と、新しいタイプのエンタングル状態を作り出したことが述べられている。第5章では、さらにその応用として、二光子の偏光状態を自由に制御する手法を理論・実験的に議論し、第6章では量子ゲートとの類似性を指摘し、第7章で全体のまとめをしている。

エンタングル状態とは、二つの量子状態が互いに相関をもって絡まり合った状態であり、たとえばスピン1/2の二つの粒子を考えた場合、一方が上向きならばもう一方も上向き、下向きならばもう一方も下向き、と言うように、片方の状態を決めるともう一方の状態が確定してしまう状態のことである。このエンタングル状態は古典的な局所理論では説明がつかず、量子論的な非局所相関を実験的に確かめるといった観点から古くから注目を集めてきた。また、最近では量子コンピューターの実現にはエンタングル状態が重要な役割を果たすことが示され、再び注目を集めている。

本論文では、第1章、第2章で光のエンタングル状態について、その意義、過去の研究例などを概観し、第3章では研究室で新たに開発した、高効率にエンタングル状態を作り出す手法の解説、およびその光源の特性を詳しく議論している。ここでは、擬似位相整合法と呼ばれる、非線形結晶中に人工的に埋め込んだ周期構造により、その逆格子ベクトルまでを含めて位相整合条件を満足させることで、非線形結晶の

もつ最大の非線形感受率を有効に利用する手法を取り入れている。その結果、これまで100mW程度の励起光出力が必要だった実験でも、わずか5 $\mu$ Wの出力で行うことができるようになった。

第4章においては、この新しい光を非対称なマイケルソン型干渉計に導き、いわゆるフランソン型の強度干渉測定を行った結果が議論されている。干渉計の出口に配置された2個の検出器に到着する光子の時間差を測定し、「同時」に来た場合のみを選択すると、二光子が両方とも短い光路を通ってきたのか、両方とも長い光路を通ってきたのかが識別できないことに起因する強度干渉が生じ、これは古典局所理論では説明できない。ここではそれを量子論的に説明している。

第5章では、第4章で用いた「同時計数法」を応用することで、光のエンタングル状態を自由に変換できることを示している。実験的には、パラメトリック下方変換で発生した二光子はエネルギーと時間がエンタングルした状態であるが、これを偏光のエンタングル状態に変換している。また第6章では、量子コンピューターの構成要素である制御ノット論理素子の演算に類似する機能をもつ状態変換回路を構築し、その特性解明を行っている。これらの状態変換効率は決して1になることはないが、このように自由に二光子の偏光状態を制御できるということは、将来の量子コンピューターなどへの応用上、自由に初期状態を設定できるという点で、意義深いものである。

以上のように本研究は、新しいエンタングルした光源の開発、そしてそれを用いた二光子状態の自由な状態変換という、量子情報操作を考えていく上で基本的と思われる手法をあみ出したものである。

なお、本論文中の第3、4、5、6章の一部は、川原果林さん、久我隆弘との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験および解析を行ったもので、論文提出者の寄与が大部分であると判断する。

よって本論文は博士(学術)の学位請求論文として合格と認められる。