

論文審査結果の要旨

氏名 大館 暁

本論文は4章からなる。第1章は序論であり、研究の背景と本論文の構成が述べられている。第2章では、マイケルソン干渉計を用いた2光子干渉実験の結果およびその理論解析の結果が述べられている。第3章では、2光子干渉効果を用いた単一量子ビットの純粋化のアイデアおよびその実験的検証、さらに多光子への拡張について述べられている。最後の第4章では、本論文のまとめと今後の展望が述べられている。

第2章で述べられている2光子干渉実験の特徴は、これまで多くの2光子干渉実験に用いられてきたノンコリニアー（非平行）な光子対ではなく、コリニアー（平行）な光子対による2光子干渉効果を初めて包括的に検証した点にある。具体的には、3パターンの実験を行った。まず、2002年にEdamatsuらによってノンコリニアーな光子対を用いて観測された photonic de Broglie 波長（光子の半波長）の周期を持つ干渉フリンジを、偏光状態の異なる（HV 偏光の）コリニアーな光子対の偏光モード間の干渉を用いて観測した。この実験は、光子の空間モード間の干渉を用いた Edamatsu らの実験に比べ、極めて安定な干渉計を構築しているという点で優れている。次に、偏光状態が同じ（HH 偏光）コリニアーな光子対をマイケルソン干渉計に入射し、出力における2光子同時計数レートを干渉計の光路差の関数として観測した。光路差がゼロ付近では、干渉フリンジの周期は1光子に対応する波長となり、かつバンチングが観測された。それに対して、光路差が可干渉距離よりも長い領域では、干渉フリンジの周期が2光子に対応する波長、つまり photonic de Broglie 波長となることが観測された。このように、干渉フリンジの周期が1光子の波長から photonic de Broglie 波長へと遷移する過程を連続的に捉えた実験はこれまでになく、この実験結果は Phys. Rev. A 誌に既に公表されている。最後に、偏光状態が直交する（HV 偏光）光子対についても同様の測定を行い、偏光状態が同じ場合（HH 偏光）と等しい干渉フリンジパターンが得られるという興味深い結果を実験的かつ理論的に初めて示した。

第3章で提案され、かつ実験的に検証された単一量子ビットの純粋化のアイデアは、第2章において詳細に研究されたコリニアな光子対の2光子干渉効果を巧みに用いるものである。このアイデアでは、光子の偏光状態を量子ビットとしたコリニアな光子対を同じ偏光状態(量子状態)に用意する。この光子対が伝送路からデコヒーレンスを受けると、もとの偏光状態と直交する状態を含む密度行列成分が付け加わるが、マイケルソン干渉計を用いて2光子同時計数、つまりバンチングが起きたときの状態を選び出すと(ポストセレクション)デコヒーレンスを受けていない状態の観測確率が結果的に上がり、偏光状態を純粋化することができる。実際の実験でも純粋度、忠実度ともにポストセレクションによって上昇していることが確認された。このアイデアは、形式的には2光子間の(不完全ではあるが)CNOT(controlled NOT)演算を利用しているという点で、Zeilingerのグループによって2001年に提案され2003年に実験的に検証されたentanglement distillationのアイデアに類似している。しかし、本論文のアイデアは、CNOTゲート演算を2光子干渉効果(同じ偏光状態にある2光子のバンチング)とポストセレクションによって実現しているという点にオリジナリティーがある。また、このアイデアを3光子以上の光子対、または1光子と2光子の光子対に拡張するための具体的な実験スキームも提示された。この研究成果はPhys. Rev. Lett.誌に投稿予定である。

なお、本論文の第2章および第3章は、Hai-bo Wang氏、小林考嘉氏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理論的考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上の研究成果により、博士(理学)の学位を授与できると認める。