

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	松山 健悟
学位授与の要件	学位規則第 4 条第①・ 2 項該当		
論 文 題 目			
An experimental study on the upper bounds of Bell's inequality violations and quantum contextuality (ベルの不等式の破れの上限と量子文脈依存性に関する実験的研究)			
論文審査担当者			
主 査	教 授	ホフマン ホルガ	
審査委員	教 授	高根 美武	
審査委員	教 授	角屋 豊	
審査委員	助 教	片山 春菜	
審査委員	助 教	飯沼 昌隆	
〔論文審査の要旨〕			
<p>Bell の不等式は、従来の物理学が前提とする局所性（離れた 2 地点は直接影響を及ぼさない性質）と实在論（測定とは無関係に系の物理量の値は決まっているとする考え方）に従う系が満たすべき不等式である。Bell の不等式の破れの発見は、自然に対する見方を根本から変えるだけでなく、量子情報の非局所な相関を与える量子もつれ状態の生成と量子制御技術の発展を促し、量子情報科学の発展に大きく寄与することとなった。しかしその一方で、次の二つの本質的な問題は残されたままである。一つは Bell の不等式の破れの大きさの上限を決める物理的要因が未解明であること、もう一つは Bell の不等式の破れと实在論の否定が直接結びつかない問題である。情報因果律の考え方に基づくと、離れた場所での情報伝達は相対論で決定されるため、量子力学から導かれる上限値を原理的に超えることが可能になる。また Bell の不等式は統計的平均値を扱っているため、实在論の否定を示す事象を直接観測したわけではない。そこでこの論文では、光子の偏光の量子もつれ発生源を用いて、上記問題にアプローチするための二つの実験的研究を主題としている。前者は測定の不確定性との関係に注目し、相補的な二つの物理量の結合測定を用いた Bell の不等式の破れの実験である。後者は量子文脈依存性の観測に着目し、实在論が成り立つ場合に異なる測定状況での測定結果が満たすべき不等式の破れ（無矛盾性の量子逆説）の実証である。後者の実験は事象そのものを扱うため、理想的には 3 つの測定文脈での測定確率が完全にゼロとなる量子状態の準備が必要となるが、実験の不完全性のため、その状態準備は不可能に近い。この論文では測定に基づいた適応フィードバック方法により、現セットアップでの最適な初期状態の準備を実現している。</p>			
<p>本論文は全 7 章より構成されており、第 1 章では、Bell の不等式の破れと関連する量子逆説の研究の背景と問題の所在が述べられている。第 2 章では、Bell の不等式の上限を調べる実験的</p>			

手法と無矛盾性の量子逆説の説明、および初期状態の最適化の基本的な方法について提案がなされ、第3章では、偏光の量子もつれ光源の原理とセットアップ、および性能評価の結果が述べられている。第4章では、結合測定の性能評価とその結合測定を利用した Bell の不等式の破れの実験結果が示されている。第5章では、適応フィードバックによる状態準備の実験結果が示され、実験パラメータ ϕ_m の最適値を求めている。第6章では、二つの物理量の測定誤差のバランスから決まる不確定性と Bell の不等式の大きさとの関係から、Bell の不等式の上限は測定の不確定性で決まるとの結論に達している。また第二の実験については、初期状態のエンタングルメントを制御するパラメータ ϕ_s と、異なる測定状況での測定結果が満たす不等式の破れとの関係を論じ、この関係から不等式の破れは局所的コヒーレンスとエンタングルメントの大きさがほぼ等しいときに最大になると結論づけている。第7章では、二つの実験結果から導き出される結論とその学術的意義などの総括を行なっている。

本論文の結果は古典統計学で示された限界を打ち破る量子相関の性質を明らかにするものであり、量子状態の最適化や量子相関の評価と定量化に関する技術を大幅に発展させる成果と言える。量子計算や量子情報処理のための大規模量子ネットワークの開発と応用にも大きく貢献すると期待される。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。

備考：審査の要旨は、1,500 字以内とする。