

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	鈴 木 佑太朗
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論 文 題 目			
Experimental investigation into physical aspects of quantum joint-statistics via optical sequential measurements (光の連続測定による量子結合統計の物理的様相への実験的探求)			
論文審査担当者			
主 査	准 教 授	HOFMANN HOLGER FRIEDRICH	
審査委員	教 授	鈴 木 孝 至	
審査委員	教 授	角 屋 豊	
審査委員	教 授	高 根 美 武	
〔論文審査の要旨〕			
<p>非可換な関係にある二つの物理量は同時に正確な値を得ることはできないため、通常、両者の間の統計的な相関を示す結合確率分布は測定できないと思われる。一方で非可換な関係は量子状態を表す密度行列に数学的な交換関係の形で内包されており、単なる定性的なトレードオフの関係に留まらない。そのためこの関係を定量的に理解するための一つのアプローチとして、両者の統計的な相関に注目した研究が行われている。理論的には量子状態を非可換な物理量の結合確率分布で表現する研究が行われており、定義の仕方やアプローチの方法によってさまざまな種類の結合確率分布が提案されている。さらにこれらの結合確率分布は負や複素数など正の実数以外の値を取ることが知られており、通常確率分布とは異なる意味で擬確率分布と呼ばれている。このような背景から、非可換な物理量の結合確率分布は実際の実験からどのような形で測定されるのか興味もたれている。</p> <p>近年、弱測定と呼ばれる新しい測定法が注目され、弱測定によって非可換な物理量の結合確率分布が測定可能であることが分かってきた。ところが弱測定は測定の反作用を無視できるように量子状態をほぼ壊さずに測定する方法であるため、普通の量子状態を完全に壊す射影測定を使った実験結果との整合性に言及できない。さらに最初から特定の結合確率分布、ディラック分布を仮定していること、測定で直接得られる正の確率分布と解析の結果得られる負や複素数の結合確率分布との関係が明確になっていないことから、これらの問題の解決には至っていない。</p> <p>そこで本論文は、量子状態の準備、維持、操作が比較的容易な量子光学の実験を行い、光子の偏光状態の結合確率分布を実験から得ることによって擬確率分布の実験的検証を目</p>			

指したものである。申請者は、まず偏光物理量の測定を全く測定しない状態からあまり量子状態を壊さない測定、さらに完全に壊す測定まで測定の強さを連続的に制御できる新しい偏光測定法を提案、構築することによって、非可換な二つの偏光物理量の連続した測定を実現した。この新しい測定を利用して、任意の測定の強さでの非可換な二つの物理量の結合確率分布を実験的に得ることに成功している。この結果は最初の測定の反作用などの回避できない不確定性の影響を含むが、明らかに光子計測技術によって測定された正の実数の結合確率分布である。さらに測定装置が与える測定の影響を実験的に評価し、二準位系特有の性質をうまく利用することによって、特定の結合確率分布を全く仮定せず、また量子論の数式を使わずに実験結果から測定の影響を排除した初期状態の結合確率分布を得ることに成功した。得られた結合確率分布は測定の強さに依存しないことが示され、負や複素数の値を含むディラック分布と実験誤差の範囲内で一致したことが示された。さらに直接測定された結合確率分布は、測定の反作用などの測定の不確定性の影響によって、負や複素数で表される結合確率分布から正の実数で表される結合確率分布に変換されることも示された。また物理量の相関の制限を古典系で与える不等式、レグット・ガーグ不等式が、量子系では結合確率が負になることによって破れることも実験的に実証している。

以上のように本論文は、偏光の連続測定法を提案・確立し、測定の不確定性が量子状態に及ぼす影響を実験的に評価する方法と、量子論を使わずに初期偏光状態を再構成する方法を提案・応用するとともに、実験から得られた相関によってディラック分布の物理的意味を明らかにし、さらにレグット・ガーグ不等式の破れなどの量子矛盾を実証した研究をまとめたものであり、その学術的意義は大きい。よって本論文の著者は博士（理学）の学位を授与されるに十分な資格を有するものと認める。

備考 審査の要旨は、1,500字程度とする。