The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Spin Squeezing and Quantum Entanglement
Author(s)	Ulam-Orgikh, Duger
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/43541
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【67】

氏　　名	ULAM-ORGIKH, Duger（おらむおるぎふ どゅげる）
博士の専攻分野の名称	博　士（理　学）
学 位 記 番 号	第　17140　号
学位授与年月日	平成14年3月25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	Spin Squeezing and Quantum Entanglement （スピンスクイージングと量子エンタングルメントに関する研究）
論 文 審 査 委 員	（主査） 教 授　小林　哲郎 （副査） 教 授　山本　錠彦　　教 授　占部　伸二　　助教授　北川　勝浩

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、著者が大阪大学大学院基礎工学研究科（物理系専攻電子光科学分野）において行った、J－スピン状態とみなすことができる、区別できない2準位系の集団のスクイージングとエンタングルメントに関する理論的研究の成果をまとめたものであり、本文5章と謝辞から構成されている。スピンスクイージングとエンタングルメントはどちらも量子相関として非常に有用であり、量子情報処理や超精密計測などの応用でも重要な役割を果たす。スピンスクイージングはまだよく理解されていない問題で、文献でもいくつかの定義が使われているが、本論文ではスピン・ベクトルの期待値に垂直なスピン成分の最小不確定性に基づく定義を採用している。エンタングルメントの指標としては、コンカレンスと呼ばれる量を用いているが、これは本来2粒子系についてのみ定義されている量であり、多粒子系におけるエンタングルメントの指標はまだ確立されたものが存在しない。本研究では、J－スピン状態に内在する置換対称性に着目して、2粒子の純粋状態に対するコンカレンスを多粒子の全粒子間エンタングルメントに、また、2粒子の混合状態に対するコンカレンスを多粒子の2粒子間エンタングルメントに、それぞれ一般化して用いている。

第1章で本研究の背景を述べた後、第2章では、負の2スピン間相関は2粒子間エンタングルメントのための十分条件であり、スピンスクイーズド状態は2粒子間エンタングルメントを持つこと、さらに、スクイージングパラメータを2粒子間エンタングルメントの指標として用いることができることを、はじめて導いている。第3章では、デコヒーレンスが存在するラムゼー分光において、スピンスクイーズド状態は、相関の無い状態を用いた場合や最もエンタングルした状態を用いた場合よりも、周波数測定精度を改善することが可能であることを導いた。さらに、単純なスピンスクイージングによってデコヒーレンスによって決まる感度改善の絶対限界に到達し得ることを示して、このデコヒーレンス限界が到達可能かどうかという未解決の問題に肯定的に決着をつけた。第4章で、2軸ひねりと呼ばれるスピンスクイージングの時間発展の厳密解を与えた。第5章で、第2章から第4章までの研究成果を総括している。

本研究で得られた結果は、原子のディッケ状態やボーズ・アインシュタイン凝縮のように興味ある状態における多体エンタングルメントを理解するのに有用である。

論文審査の結果の要旨

本論文は、ドュゲル　オラムオルギフ君が大阪大学大学院基礎工学研究科（物理系専攻電子光科学分野）において行った、J-スピン状態とみなすことができる、区別できない2準位系の集団のスクイージングとエンタングルメントに関する理論的研究の成果をまとめたものであり、本文5章と謝辞から構成されている。スピンスクイージングとエンタングルメントはどちらも量子相関として非常に有用であり、量子情報処理や超精密計測などの応用でも重要な役割を果たすものである。ここでは、スピンスクイージングに対してはスピンの期待値（ベクトル）に垂直なスピン成分の最小不確定性に基づいた定義を採用し、また、エンタングルメントに対しては、J-スピン状態に内在する置換対称性に着目して、2粒子の純粋状態に対するコンカレンスを多粒子の全粒子間エンタングルメントの指標に、また、2粒子の混合状態に対するコンカレンスを多粒子の2粒子間エンタングルメントの指標に、それぞれ一般化して用いている。

まず、第2章で、負の2スピン間相関は2粒子間エンタングルメントのための十分条件であり、スピンスクイーズド状態は2粒子間エンタングルメントを持つこと、さらに、スクイージング・パラメータを2粒子間エンタングルメントの指標として用いることができることを、はじめて導いている。さらに、第3章では、デコヒーレンスが存在するラムゼー分光において、スピンスクイーズド状態は、相関の無い状態を用いた場合や最もエンタングルした状態を用いた場合よりも、周波数測定精度を改善することが可能であることを導いている。また、単純なスピンスクイージングによってデコヒーレンスによって決まる感度改善の絶対限界に到達し得ることを示して、このデコヒーレンス限界が到達可能かどうかという未解決の問題に肯定的に決着をつけている。

最後に、第4章では、2軸ひねりと呼ばれるスピンスクイージングの時間発展の厳密解を与えている。本研究で得られた結果は、原子のディッケ状態やボーズ・アインシュタイン凝縮のように興味ある状態における多体エンタングルメントを理解するのに有用である。また、将来の量子情報処理、通信などの実際的な応用面でも有力な手法となる可能性をもつアイデアを提供している。

以上のように、本論文は、現在、量子物理でホットな話題であり、かつ、将来の情報通信技術で大きな役割が期待される量子相関の分野でのいくつかの重要な未解決の問題に対して有力な解、あるいは道筋を示しており、量子物理、および、量子情報分野の発展に貢献することが大と考えられるので、博士（理学）の学位論文として十分に価値あるものと認める。