



Title	量子不確定性の制御に関する研究
Author(s)	北川, 勝浩
Citation	大阪大学, 1994, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/39335">https://hdl.handle.net/11094/39335</a>
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、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> 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

氏 名	北 川 勝 浩
博士の専攻分野の名称	博 士 ( 理 学 )
学 位 記 番 号	第 1 1 6 1 4 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 6 年 1 2 月 2 2 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学 位 論 文 名	量子不確定性の制御に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 小林 哲郎 (副査) 教授 山本 錠彦 教授 蒲生 健次 教授 張 紀久夫

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、非可換な物理量の間で量子不確定性を取り引きする一般化されたスクイジングによって、光子数の不確定性、スピンの不確定性、粒子数または位相の分岐雑音などを抑圧する方法に関する理論的研究をまとめたものであり、以下の7章より構成されている。

第1章では、本研究の目的と背景を述べて、その意義を明らかにする。

第2章では、量子雑音の起源を述べ、従来の光の直交位相振幅に関するスクイジングの概念を一般化して、量子不確定性の制御に関する理論的枠組を明らかにする。

第3章では、コヒーレント状態の光子数不確定性を抑圧して光子数スクイズド状態を作る方法として、光 Kerr 媒質を一方の腕に含む非線形 Mach - Zehnder 干渉計を提案し、自己位相変調による三日月型のスクイジングと干渉によるその平行移動によって、光子数分散が従来の直交位相振幅スクイズド状態による限界を遥かに凌ぐ平均光子数の  $1/3$  乗まで抑圧可能であることを明らかにする。

第4章では、光 Kerr 効果を用いた光子数の量子非破壊測定やパラメトリック増幅後のアイトラ光の光子数測定によって、測定後の信号光の状態が光子数スクイズド状態となることを示す。

第5章では、スクイジングの概念をスピン系に一般化してスピンのスクイズド状態を定義し、 $S$ -スピン系を構成する  $2S$  個の  $1/2$  スピン間の量子相関によってスピンのスクイズされることを示す。 $S$ -スピンをスクイズする最も基本的な非線形相互作用として1本の軸の回りにスピンをひねるハミルトニアンを提案し、平均スピンベクタに垂直なスピン成分の分散がコヒーレント状態の  $S/2$  から  $S$  の  $1/3$  乗まで抑圧可能であることを示す。さらに2本の軸について逆向きにひねることによって分散は  $1/2$  まで抑圧可能となることを示す。

第6章では、分岐雑音を真空場の揺らぎのみに帰着し零点スクイズド状態によってそれを抑圧する従来の方法がフェルミ粒子に適用できないことを指摘し、粒子の統計性に依らないより一般性の高い描像によって分岐雑音の本質が分岐装置の線形性にあり、非線形性によって粒子数と位相の分岐雑音が取り引き可能であることを明らかにする。光子と電子の非線形分岐として、両腕に光 Kerr 媒質を含む非線形 Mach - Zehnder 干渉計と両腕間にクーロン相互作用のある

電子の非線形 Mach – Zehnder 干渉計を提案し、初めてフェルミ粒子の分岐雑音抑圧の可能性を指摘する。

第7章では、本研究で得られた主要な結果を総括する。

## 論文審査の結果の要旨

物理系の規模の縮小に伴い光子数や電子数が減少すると、量子不確定性の影響が相対的に大きくなるため量子雑音が問題となる。この量子雑音を抑圧する方法として共役な物理量の間で不確定性を取り引きするスクイジングが注目されている。本論文は、従来光の直交位相振幅 ( $\sin$ ,  $\cos$  成分) 以外については殆ど研究されていなかったスクイジングを光子数に、スピンにと拡大させた他、さらに一般粒子の分岐にまで対象を広げ、その量子不確定性の抑圧法を提案したものである。主要な成果を要約すると以下ようになる。

コヒーレント状態からユニタリ的发展によって光子数不確定性を抑圧する最初の方法として光 Kerr 媒質を一方の腕に含む非線形 Mach – Zehnder 干渉計を提案し、自己位相変調による新しいタイプのスクイジングを発見し、光子数分散が従来の直交位相振幅スクイズド状態による限界を遥かに凌ぐ平均光子数の  $1/3$  乗まで抑圧可能であることを明らかにしている。またこれにより光子数と位相の最小不確定性を保ったまま光子数スクイズド状態に移行できることを示している。

コヒーレント状態の光を入力として、光 Kerr 効果を用いた光子数の量子非破壊測定やパラメトリック増幅後のアイドラ光子数測定を行なった後の信号光の状態が光子数スクイズド状態であることをはじめて示している。

スピンにおける座標系に依存しないスクイジングの定義をはじめて与え、スピン成分について2次のハミルトニアンによる1軸および2軸のひねりによってスクイジングが実現し得ること、および、スピン成分の不確定性の抑圧限界をはじめて明らかにしている。

従来は分岐雑音はビームスプリッタの空きポートに入射する真空場によるものと考えられており、この抑圧法として空きポートへの零点スクイズド光注入が提案されていたが、著者はここではこのような考え方がフェルミ粒子に適用できないことを指摘し、分岐雑音の本質が粒子の統計性に依らないもっと一般的なもの、つまり分岐装置の線形性にあること、及び、非線形分岐により粒子数と位相の分岐雑音の取引きが可能なることをはじめて見出ししている。そしてこの最初の例として、フェルミ粒子の分岐雑音を抑圧する両腕間にクーロン相互作用のある電子の非線形 Mach – Zehnder 干渉計を提案している。さらに、反対符合の非線形性をもつ非線形干渉計の組み合わせによる分岐雑音の抑圧効果の増強法についても提案を行っている。

以上の様に、本論文は、スクイジングの一般化による量子不確定性の制御に関して多くの新しい知見を含むもので、基礎物理、及び、量子光学の発展に寄与するところが大きい。よって博士（理学）論文として価値あるものと判断する。