

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	Xe原子EDM探索のための核スピンメーザーを用いた共存磁力計の研究
Title(English)	Study of spin maser comagnetometry for the Xe atomic EDM experiment
著者(和文)	佐藤智哉
Author(English)	Tomoya Sato
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10054号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:旭 耕一郎,中村 隆司,柴田 利明,久世 正弘,金森 英人
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10054号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	佐藤 智哉	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	旭 耕一郎	教授	金森 英人	准教授
	審査員	中村 隆司	教授		
		柴田 利明	教授		
久世 正弘		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は"Study of spin maser comagnetometry for the Xe atomic EDM experiment" と題し、反磁性原子 ^{129}Xe を対象に、時間反転不変性を破る観測量である永久電気双極子モーメント(EDM)を探索するために、新しい型の共存磁力計を提案、その周波数安定性を実験的に検討・評価したものである。本論文は以下の7つの章から構成される。

第1章 "Introduction" では、まず EDM の一般的性質と対称性操作のもとでの変換性、および種々の粒子における EDM の起源とその研究現状を概観し、この観測量が素粒子の標準理論を超える新しい物理の存在を検証する上で重要な位置にあると述べている。次いで本研究が目指す反磁性原子の EDM は主として核の Schiff モーメントからの寄与として表わされること、EDM 探索対象の反磁性原子として ^{129}Xe 原子が有望であることを明らかにしている。また EDM の高感度検出にはスピン歳差周波数の測定精度が鍵であり、その高精度測定のために低い印加磁場と長い歳差持続時間が重要な課題であることを明らかにし、これを実現するものとして、光学的スピン検出による能動帰還型スピンメーザーを用いた方法が有力であること、高性能の共存磁力計の導入が不可欠であることを指摘して本研究の目的に言及している。

第2章 "Spin maser" では、スピンメーザーを構成する上で必要なスピン偏極生成の原理とスピン緩和について説明した後、核スピンメーザーの動作を記述する方程式とそこから導出される発振現象の特性、および光学的に検出したスピン歳差シグナルのスピン系への帰還によって歳差を維持する能動帰還型スピンメーザーの動作原理と光学的スピン検出の方法について述べている。

第3章 "Apparatus" は、前章で述べた実験原理に基づき構築した実験装置の具体的記述に充てられている。冒頭で装置全体の構成を示した後、スピンメーザーの動作物質となる ^{129}Xe , ^3He , ^{131}Xe 等の気体を収容するガラス製セルについて、本研究で採用した数種のサイズ・形状・素材と作成法・内壁処理法を記述している。次にそれらを用いて行った各気体の到達偏極度、緩和時間、その温度依存性の測定結果を報告している。続く4つの節では偏極生成とスピン検出に用いるレーザー、セル温度を制御するオープン、磁気シールド、静磁場とそのためのコイル・電流源とその安定化システム、帰還磁場の生成機構について述べ、最後にメーザー発振周波数の導出方法を説明している。

第4章 "Study of $^{129}\text{Xe}/^3\text{He}$ spin masers" においては、 ^{129}Xe および ^3He のメーザーについてメーザー動作の最適化法を述べたあと、静磁場強度、セル温度、レーザー光の強度・波長の各実験条件パラメータへのメーザー発振周波数の依存性を詳細に調べた結果を報告している。

第5章 " $^{129}\text{Xe}/^{131}\text{Xe}$ dual nuclear spin maser" では、 ^{131}Xe スピンで構成されたスピンメーザーについて、この核が ^{129}Xe と同一の元素ゆえに Rb からの接触シフトをキャンセルできる重要な利点を持つことを指摘している。そしてスピン値が能動帰還スピンメーザーとして初めての $3/2$ であること、von Neumann 方程式から出発した記述と計算機シミュレーションの結果を与えてそれが近似的に3つの互いに独立したスピン $1/2$ 系の集合とみなせるものの、スピン-帰還磁場間の相互作用がスピン $1/2$ 系のメーザーとは異なる様相をもたらす可能性があることに注意を喚起している。その上で、 ^{131}Xe で始めてスピンメーザーの発振に成功したことを報告し、その周波数の各実験条件パラメータへの依存性を詳細に調べている。

第6章 "Experimental result and discussion" では、スピン歳差周波数の精密決定の観点から、スピン歳差信号の解析方法を議論した後、第4、5章で得られた各条件パラメータへの周波数の依存性の実験データに基づいて、各条件の変動を原因とするメーザー発振周波数の安定性を、共存磁力計として ^3He , ^{131}Xe の各々を採用した場合につき評価している。その結果、5,000 s 平均周波数の分散はいずれの場合も $1\sim 2 \mu\text{Hz}$ と得られた。最後の節では、 ^3He 共存磁力計の場合にはこの周波数変動の主因がさらなる改善の見込めない Rb 接触シフトによるものである一方、 ^{131}Xe 共存磁力計の場合は Rb 接触シフトによるものは極めて小さく、観測された分散はレーザー光強度安定化や歳差検出機構の検討を通じて今後さらに改善の可能性が十分あることを指摘している。

第7章 "Conclusion" では、前章までの結果を総括し、本論文の結論をまとめている。

以上、本論文は標準理論を超える物理の証拠を与えうる観測量、反磁性原子 ^{129}Xe の EDM を探索するために、新しい型の共存磁力計を提案し、これを能動帰還型核スピンメーザーとして実現、その発振周波数安定性を詳細に調べて変動要因を明らかにするとともに、その効果を抑制するための方法と装置の開発を行なって、本共存磁力計が従来型共存磁力計の持つ接触相互作用起因の安定性限界を解消できることを示したものである。原子核・素粒子物理研究の進展に貢献するものであり、博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。