T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

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)	要約
Type(English)	Outline

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

論文要約

“Study of spin maser comagnetometry for the Xe atomic EDM experiment”

（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）

Tomoya SATO

本論文は反磁性原子 ^{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、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する。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最重要の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する。

第 2 章 "Spin maser" では、スピンメーザーを構成するに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を具体的に紹介する。冒頭で装置全体の構成を示した後、まずスピンメーザーの動作物質となる ^{129}Xe, ^{3}He, ^{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、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する。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装置、セル温度を制御するオーブン、磁気シールド、スピン歳差を引き起こすための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する。

第 4 章 "Study of ^{129}Xe/^{3}He spin masers" においては、^{129}Xe および ^{3}He 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する。

第 5 章 "^{129}Xe/^{131}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 と同一の元素のゆえに 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た。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を指摘した。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査した。

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 ^{3}He, ^{131}Xe の各々を採用した場合につき評価した。その結果、5,000 s 平均の周波数分散はいずれの場合も 1～2 μHz が得られた。最後の節では、^{3}He 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の改善の余地があることを指摘した。

第 7 章 "Conclusion" では、前章までの結果を総括し、本論文の結論を述べる。