

Title	Precision Laser Spectroscopy of Atoms in Superfluid Helium for Investigation of Nuclear Structure
Author(s)	古川, 武
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48768
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"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	ふる かわ たけし 古川 武
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 21633 号
学位授与年月日	平成 19 年 12 月 20 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Precision Laser Spectroscopy of Atoms in Superfluid Helium for Investigation of Nuclear Structure (超流動ヘリウム中に植え込まれた原子の精密レーザー分光と核構造研究への応用)
論文審査委員	(主査) 教授 下田 正 (副査) 教授 岸本 忠史 教授 小川 哲生 教授 岡村 弘之 招聘教授 松尾由賀利

論文内容の要旨

我々は、近年注目を集める不安定核の特異な核構造を探る上で有効な物理量である、核スピンと電磁気モーメント(核モーメント)を系統的に測定できる新しい方法を提案した。それは、核反応にて生成した不安定核を超流動ヘリウム(He II)中へと導いてレーザー分光を行い、不安定核原子の準位構造(超微細構造およびゼーマン副準位構造)から核のモーメントとスピンをそれぞれ決定するというものである。具体的には、1) He II 中に高速な不安定核ビームを打ち込んで停止させ、2) 停止した不安定核原子をその場でレーザー光ポンピング法にてスピン偏極させ、3) マイクロ波やラジオ波を照射して超微細構造準位間もしくはゼーマン副準位間の共鳴を起こし、レーザー誘起蛍光強度の変化から準位構造を調べる、という方法である。本方法が実行可能となれば、生成量が 10 pps 程度と少なく既存の方法では核のモーメントやスピンの測定が困難であった、核内の陽子数と中性子数が極端に異なった存在限界近くの不安定核に対しても測定が可能になると期待される。

そこで本方法の有用性を実証するために、安定同位体原子を用いた開発実験を行った。開発実験のための測定装置系を整備した後、大掛かりな加速器を用いずに安定同位体原子を簡便に超流動ヘリウム中へと導入する方法を開発した。その後、まずレーザー光ポンピング法によって 90%以上の高い偏極度を ^{133}Cs 原子について達成し、また He II 中では偏極緩和時間が 2 秒以上と極めて長時間であることも初めて明らかにした。これらの結果は、He II が原子のスピンを操作してレーザー分光を行うのに有効な環境であることを示唆するものである。さらに、ゼーマン準位間および超微細構造準位間の共鳴を測定し、それぞれの準位構造から $^{85,87}\text{Rb}$ 原子について核スピンおよび核モーメントを導出した。核スピンの値は極めて高い精度 ($>4\sigma$ 精度) で既知の値と一致し、核モーメントの値も核構造の議論に十分な精度 ($<1\%$) で既知の値と一致を示した。このことは我々の測定法が十分に実用的であることを示している。今回得られた核モーメントの値と、NMR 法など他の実験による値との間のわずかなズレは、超微細構造相互作用における原子核の磁化分布を反映した Bohr-Weisskopf 効果に起因するものであり、この微細な影響についても詳細に測定し、He II 中における超微細構造について詳細に議論することが本研究により可能となった。

最後に、実証実験で得られたパラメータを元にシミュレーションを行い、10 pps 程度の生成量しかない不安定核に

対しても1日の実験期間で測定が可能であることを示した。これらの結果から、今まで測定が困難だった不安定核のスピンの核モーメントを測定し、短寿命不安定核の構造研究に新たな扉を開く新たな測定法の開発に成功したと結論付ける。

論文審査の結果の要旨

近年注目を集める短寿命不安定原子核は、安定な原子核に比べて中性子または陽子の数が極端に多いため、安定核とは異なる特異な核構造を持つことが明らかになりつつある。これら短寿命核の構造を探る上で有効な物理量である核スピンや電磁モーメント（核モーメント）について、系統的測定が世界各地で活発に試みられている。しかし原子核存在限界近傍の短寿命核においては、生成収量が非常に少なく（典型的に100 pps以下）、他の核種が大量に混ざり純度が悪い等の理由から、既存の実験方法（例えば、偏極した原子核からの β 線放出の非対称度を測定する方法、高速のイオンビームにレーザーを照射して原子の超微細構造を測定する方法等）ではスピンやモーメントの測定が極めて困難であった。このため、少ない生成収量で純度の悪い短寿命原子核に対しても、スピンやモーメントを系統的に測定できる方法の開発は長らく待たれるところであった。

古川 武氏は、これらの問題点を打破して短寿命核のスピンやモーメントを系統的に測定するために、超流動ヘリウム（He II）中というレーザー分光の新しい環境を利用する方法の提案、開発を行った。それは、核反応にて生成した不安定核をHe II中へと導いてレーザー分光を行い、不安定核原子の準位構造（超微細構造およびゼーマン副準位構造）から核のモーメントとスピンをそれぞれ決定するというものである。具体的には、1) He II中に高速な不安定核ビームを打ち込んで停止させ、2) 停止した不安定核原子をその場でレーザー光ポンピング法にてスピン偏極させ、3) マイクロ波やラジオ波を照射して超微細構造準位間もしくはゼーマン副準位間の共鳴を起こし、レーザー誘起蛍光強度の変化から準位構造を調べる。本方法が実行可能となれば、生成量が10 pps程度と少ない存在限界近くの不安定核に対しても測定が可能になると期待される。

そこで古川氏は、本方法の有用性を実証するため、安定同位体原子 ^{133}Cs および $^{85,87}\text{Rb}$ を用いた実験を詳細に行った。まずレーザー光ポンピングにて90%以上の高い偏極度を生成することに成功し、またHe II中は偏極緩和時間が2秒以上と極めて長時間であることも突き止めた。これは、He IIが原子のスピンを操作して測定を行うのに非常に有効な環境であることを示唆する結果である。さらに、ゼーマン準位間、超微細構造準位間の遷移周波数をHe II中にて精密に測定し、それぞれの準位構造から $^{85,87}\text{Rb}$ 原子について核スピンおよび核モーメントを導出した。得られた核モーメントの値は、核構造の議論が十分可能な程に既存の結果と一致しており、He II中を用いた測定法の実用性を証明する結果であった。さらに、実験時の状況を元に低収量な短寿命核を測定したときの結果をシミュレートし、10 ppsの短寿命核に対する測定が可能であることが確認された。

本研究で開発に成功した超流動ヘリウム中での原子の精密レーザー分光法が、今まで測定が困難であった短寿命核のスピン、モーメント測定による、不安定核の構造の詳細な議論への道を切り開いたことは高く評価される。さらに、本研究で得られた超流動ヘリウム中での原子の振舞いに関する知見は原子核物理学のみならず、原子物理、物性物理など物理学の他分野へ幅広く貢献することも高い評価に値する。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。