

Title	レーザー同位体分離のためのウラン、ガドリニウム原子の多段階共鳴光イオン化分光研究
Author(s)	宮部, 昌文
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1453
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	宮 部 昌 文
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 19000 号
学位授与年月日	平成 16 年 9 月 21 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	レーザー同位体分離のためのウラン、ガドリニウム原子の多段階共鳴光 イオン化分光研究
論文審査委員	(主査) 教授 井澤 靖和 (副査) 教授 竹田 敏一 教授 西嶋 茂宏 教授 山中 伸介

論 文 内 容 の 要 旨

レーザー同位体分離は 1 回の分離操作で同位体を分離できるため、潜在的に優れた経済性を有する分離法である。しかしそのためには、対象同位体の原子のみを効率よくイオン化できる共鳴遷移の組み合わせ（電離スキーム）を探し出すことが必要である。本研究では、ウランやガドリニウムのレーザー同位体分離に最適な電離スキームを分光学的手法により提示した。

第 1 章では、レーザー同位体分離の原理や、スキーム選定に必要となる分光データの種類、分光研究の現状と問題点を示して本研究の位置づけを述べた。

第 2 章では、エネルギー準位に関する分光測定をまとめた。第 2 励起準位や電離準位に利用できる新しい準位を多数明らかにし、全角運動量 J 値を同定した。また、電離遷移の同位体シフトを測定し、その大きさが第 2 励起準位よりやや大きいこと、電離遷移でも同位体選択性が期待できることを指摘した。また、観測される単色多光子電離遷移の多くが、始状態から共鳴 2 光子励起で第 2 励起準位を経由することを突きとめ、第 2 励起準位の同位体シフトの測定に利用できることを示した。

第 3 章では、光学遷移に関する分光測定をまとめた。分岐比測定法では励起状態の寿命が長い場合でも精度良く測定ができる逆ブランディング法を考案し、発光分光で報告されたガドリニウムの振動子強度に、大きな系統誤差があることを示した。飽和法では、飽和が十分観測できない場合でも断面積が測定できる逆飽和法を考案した。また光ガルバノ信号の飽和を利用して断面積を簡単に測定する方法を考案した。

第 4 章では、多段階電離スキームの電離効率を簡単に評価する方法を考案した。多段階電離遷移を等価な 1 段階遷移に置き換える事で、スキーム断面積を導出した。スキーム断面積には最大値が存在し、スキームの潜在的な電離能力を表すことを示した。前 2 章で測定した分光データと、スキーム評価方法を基に、ウラン、ガドリニウムの最適スキームを選定し、電離効率や同位体選択性が十分高いことを確認した。

第 5 章では、自動電離準位の電離幅が J 値の増加とともに狭まる傾向があることを示し、このような特徴が、遠心力ポテンシャルバリアの効果であることを示した。またこの事から、電離断面積の大きな遷移を効率よく見つけるための指針を得た。また光学遷移の選択則を利用して、リドベルグ系列のスペクトルを単純化して観測し、イオン化ポテンシャルを精度良く決定すると共に、その同位体効果を始めて明らかにした。さらにリドベルグ系列の摂動構造から、連続状態も含むエネルギー準位間相互作用の強さを調べ、こうした摂動の結果、局所的に先鋭な自動電離ピーク

が生じる可能性があることを示した。

論文審査の結果の要旨

多段階共鳴電離法を利用する原子法レーザー同位体分離は高い濃縮比が得られるため1回の分離操作で同位体を分離でき、潜在的に優れた経済性を有する分離法である。複雑な原子構造をもつウランやガドリニウムのレーザー同位体分離においては励起準位や電離準位、ならびに遷移に関する膨大な分光学的原子データの整備と効率良い多段階電離経路の選択が重要である。本論文は、原子の励起準位や遷移データを精度良く測定するための分光法に改良を加え、ウランとガドリニウムについて、これまで報告されていない多くの新しい励起準位や電離準位を見いだすとともに、そのJ値や同位体シフト、および遷移の振動子強度、遷移断面積を決定し、さらに、多くの励起準位や自動電離準位の中から高い同位体選択性と電離効率が得られる励起・電離経路を決定するための手法を開発した研究の成果をまとめたものである。主な成果を要約すると以下の通りである。

- (1) 2波長多光子励起法や3波長共鳴励起法などを用いてウランとガドリニウムのエネルギー準位に関する分光測定を行い、これまでに報告例のない多くの新しい高励起準位や自動電離準位を見いだし、その全角運動量子数J値を決定している。
- (2) 自動電離準位への遷移の同位体シフトを測定し、その大きさが高励起準位への遷移よりやや大きいことを指摘し、電離遷移においても同位体選択性が期待できることを明らかにしている。
- (3) 逆ブランチング法や逆飽和法など、従来の光学遷移に関する計測法を改良した新しい手法を考案して、多くの励起準位や光学遷移について、寿命、振動子強度と分岐比、ならびに励起断面積などを精度良く決定している。また、発光法で測定されたガドリニウムの振動子強度の文献値には大きな系統誤差があることを指摘している。
- (4) 自動電離準位の線幅がJ値の増加とともに狭くなることを見だし、この特性が遠心力ポテンシャルの効果であることを明らかにして、電離断面積の大きな遷移を効率良く見つける指針を得ている。また、光学遷移の選択則を利用して、リドベルグ系列のスペクトルを単純化して観測し、イオン化ポテンシャルを精度良く決定するとともに、その同位体効果を初めて明らかにしている。さらに、リドベルグ系列の摂動構造から連続状態も含めたエネルギー準位間の相互作用強さを検討し、摂動の結果局所的に鋭い自動電離ピークを生じる可能性があることを指摘している。
- (5) スキーム断面積という新しい概念を提案し、これを用いて多段階共鳴電離経路(スキーム)を等価な1段階電離経路に置き換え、スキーム全体の電離効率を簡単に評価できる手法を開発している。スキーム断面積は多段階共鳴電離経路の潜在的な電離能力を表すことを明らかにし、また、スキーム断面積には最大値が存在し、ウランとガドリニウムに対して測定した原子分光データを用いて最適スキームを選定してその電離効率や同位体選択性が十分大きいことを示している。

以上のように、本論文は、ウランとガドリニウムに関する多くの新しい原子分光データを取得するとともに、原子法レーザー同位体分離プラントの設計上有用となる多くの新しい知見を明らかにしており、原子物理学、レーザー工学、および原子力工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。