

## 論文審査結果の要旨

論文提出者氏名 高 峰 愛 子

本論文は、第 1 章序論、第 2 章低速 RI イオンビーム、第 3 章ベリリウム同位体の高精度レーザー分光、第 4 章総括と展望、第 5 章付録の全 5 章からなっている。本論文の請求要件には大きく 2 つの要素がふくまれており、その第一が普遍的かつ高い効率で低速の不安定原子核を生成できる高周波イオンガイド法の開発であり、第 2 章はこれに当てられている。そのようにして得た 2 種類のベリリウム不安定同位体を用いて初めて実現された高精度レーザー分光とその結果が第 3 章で記述されている。第 4 章はまとめと今後の展望、第 5 章は付録で、本論文に関わる基礎的項目が簡潔にまとめられている。

自然界に安定に存在する原子核は 274 種類であるが、束縛状態を形成するという意味では 7000 種に達する不安定原子核が存在すると予測され、実際、すでに 2000 種程度が確認されている。このような不安定原子核は、従来の原子核に関する描像を大きく変えるものと考えられており、例えば、軽い中性子過剰核では、価中性子が動径方向に大きく広がったいわゆる中性子ハロー核が発見され、安定原子核の研究からほとんど常識になっていた原子核物質の非圧縮性・膨張性という概念に大きな変更を加えている。

このような不安定原子核により明らかになる新たな原子核物質の様相は、これまで“定性的”には原子核反応を用いて研究されてきたが、より定量的な情報を引き出すためには、相互作用の良く知られている電磁的なプローブを利用することが必要不可欠となる。すなわち、電子の束縛エネルギー、従って、電子状態間の遷移エネルギーにより原子核内の荷電分布を、また、超微細構造分離により原子核内の磁気モーメント分布 (Bohr-Weisskopf 効果) を定量的に評価できる。本研究では、この当たり前ながら、往々にして閑却視されている事実の重要性に注目し、高エネルギーの重イオンによる入射核破砕反応により生成される各種の不安定原子核ビームを高い効率的でイオンのまま減速する一般的な手法を開発した。さらに、この手法を用い、1GeV 領域にある  $^{10,7}\text{Be}$  の 2 種類のベリリウム不安定同位体を減速・冷却して、高分解能レーザー分光を実現している。この第一段階に当たる低速不安定原子核ビームの一般的生成法のキーとなるのが、第 2 章に記載されている高周波イオンガイド法と呼ばれる新しいイオン収集・真空取り出し機構である。これは、高エネルギー陽子ビームにより標的中に不安定同位体を生成する所謂オンライン同位体分離法 (ISOL 法) が、生成された不安定同位体の巨視的な拡散と表面からの脱離を必要とするため、取り出した元素の化学的性質や寿命による大きな制限があることと比較すると、はるかに普遍的で、

今後の関連分野へ多大な貢献をするものと期待される。より具体的には、理化学研究所のビーム破砕核分離器(RIPS)からの1 GeV程度の高速度不安定核ビームを、エネルギー減衰板と長さ2mのHeガスセルを組み合わせることで熱化させ、その後、静電場と高周波を巧みに組み合わせる“RF カーペット”により、細孔部から真空中に引き出している。これにより大変高い効率(数%)で、不安定原子核を減速、引き出しすることがはじめて可能になった。また、研究の過程で、不安定原子核ビームの輸送効率が入射イオン強度に強く依存することを見出し、これが空間電荷効果によることを定量的に明らかにしている。

本研究では、真空中に引き出された低速の不安定ベリリウム同位体ビームを、さらに、六重極、及び、八重極イオンビームガイドにより超高真空領域にある分光用イオントラップまで輸送し、これをレーザー冷却した後、高分解能レーザー分光し、 $^{10}\text{Be}^+$  と  $^{7}\text{Be}^+$  の  $2s^2S_{1/2} - 2p^2P_{3/2}$  電子双極子遷移を  $10^{-8}$  の精度で測定している。Be の安定核は  $^9\text{Be}$  のみで、それ以外のBe 同位体に対する遷移エネルギーは知られておらず、これが世界で初めての分光実験となっている。また、 $^9\text{Be}^+$  の分光も弱磁場中での測定を実現することにより、過去の強磁場中での測定値をより正確なものに修正している。

以上、本申請者は、不安定原子核構造の定量的理解に欠くことのできない電磁的観測法を実現するため、イオンガイド法の開発に大きな貢献をし、かつ、それにより得られたベリリウム同位体の高分解能レーザー分光を実現した。本研究は10数名の共同研究者と共に進められた中規模のグループによる共同研究であるが、実験装置の立ち上げ、実験の遂行、その後のデータ解析等、本要旨に記載された研究内容については本申請者が主体的に進めたものである。したがって、本審査委員会は博士(学術)の学位を授与するにふさわしいものと認定する。