

論文内容の要旨

論文題目: 高速不安定核・リコイル・ディスタンス法の開発による³²Mgの第一2⁺励起状態の寿命測定 (Lifetime measurement of the first 2⁺ excited state of ³²Mg by the development of the Fast RI Recoil Distance Method)

氏名: 鈴木 賢

本研究では系統誤差の小さい測定手法として高速不安定核・リコイル・ディスタンス (FRI-RDM) 法を開発した。これを用いて中性子過剰核 ³²Mg の第一2⁺励起状態の寿命 $t_{1/2}$ の直接精密測定を初めて行った。³²Mg は $N = 20$ の魔法数に異常が見られる 'Island of Inversion' 領域の代表的な核である。この領域の核は安定核の実験から得られた理論から大きく外れた性質を持っており、安定核の実験だけからは得られなかった核構造についてのより一般的な知見を得ることが出来る。その中でも本研究では原子核の集団性を強く表す量である換算遷移確率 $B(E2)$ に注目した。しかし、³²Mg の第一2⁺励起状態の $B(E2)$ の既存の実験値はばらつきが大きく統一した見解が得られていない。既存の実験の多くはクーロン励起断面積測定により $B(E2)$ を求めているが、その解析は反応や励起のモデルに強く依存しており、原理的に高精度の測定は難しい。それに対して寿命 $t_{1/2}$ は $B(E2)$ と直接の関係にあり、励起状態の $t_{1/2}$ を測定すれば反応や励起のモデルに依存せずに $B(E2)$ を求めることが出来る。

本研究で開発した FRI-RDM 法は低エネルギー・ビームで確立された寿命測定法であるリコイル・ディスタンス (RDM) 法を高速不安定核ビームに適用出来るように拡張したものである。FRI-RDM 法ではビームの速度が従来の RDM 法の 20 倍程度の高速不安定核ビームに対して測定を行うため、二次標的を厚く取ることで測定効率が高い、ディグレーダを厚く取ることでピークの分離がしやすい、二次標的・ディグレーダ間隔を大きく取ることで相対誤差が小さい、といった利点がある。ただし二次ビームを用いて実験を行うのに十分な大強度のビームが得られる加速器と、RDM 法のピーク間隔に対して十分に小さいエネルギー分解能となるように位置感応性と検出器固有のエネルギー分解能を持った γ 線検出器が必要である。

本実験ではこの FRI-RDM 法に対して、大強度の不安定核ビームが得られる理化学研究所加速器研究施設の理研入射核分離装置と、高位置分解能を持った γ 線検出器 CNS-GRAPe とを併せて用いることにより、³²Mg の第一2⁺

励起状態の寿命を測定した。加速器からはエネルギー $E_{40\text{Ar}} = 95\text{MeV/u}$ 、強度 $I_{40\text{Ar}} = 50\text{pnA}$ の ^{40}Ar ビームを ^9Be 一次標的に照射して入射核破碎反応により ^{32}Mg ビームを生成した。この ^{32}Mg ビームを ^{197}Au 二次標的に照射して第一 2^+ 励起状態を励起し、その脱励起 γ 線を逆運動学的に測定した。位置感应型 γ 検出器として利用した東京大学原子核研究センターの Ge 検出器アレイ、CNS-GRAPE は、 $\delta E = 3\text{--}4\text{keV}$ のエネルギー分解能と $\delta z = 5\text{mm}$ の位置分解能、本実験のセットアップで $\epsilon = 0.77\%$ の検出効率を持つ。二次標的の厚さは $d_{\text{tgt}} = 1350\text{mg/cm}^2$ 、ディグレダの厚さは $d_{\text{deg}} = 190\text{mg/cm}^2$ を選んだ。 ^{32}Mg のビームエネルギーの平均値は二次標的出射時で $E_{\text{fast-nuclei}} = 25.2\text{MeV}$ 、 $\beta_{\text{fast-nuclei}} = 0.223$ 、ディグレダ出射時で $E_{\text{slow-nuclei}} = 15.8\text{MeV}$ 、 $\beta_{\text{slow-nuclei}} = 0.177$ である。また本実験では、二次標的による励起とディグレダによる励起を分離するために、二次標的・ディグレダ間隔 $d_{\text{tgt-deg}} = 5.0\text{mm}$ と $d_{\text{tgt-deg}} = 1.2\text{mm}$ の二通りの測定を行った。各測定により得られた二重構造を持ったピーク形状を数値計算の結果でフィットして、主に両ピークの面積比から $t_{1/2}$ を求めた。最終的に得られた値は、 $t_{1/2} = 13.7 \pm 1.94 \pm 0.17\text{ps}$ である。この値から換算遷移確率を求めると $B(E2) = 380 \pm 54 \pm 5e^2\text{fm}^4$ である。本実験の $B(E2)$ は以前の実験の値と矛盾していない。この値は、“feeding” 補正の有無による違いを中間エネルギー・クーロン励起断面積測定系の系統誤差とみなした値よりも誤差が小さい。本実験の値は低エネルギー・クーロン励起断面積測定系の値と同程度の誤差である。本実験の値は β 遅延 γ 線による寿命測定系の値よりも誤差が小さい。また ^{22}Na と ^{21}Ne の寿命が既知である励起状態についても同様の測定を行い、文献値と一致することを確かめた。

本実験では、‘Island of Inversion’ の問題の鍵である ^{32}Mg の第一 2^+ 励起状態について寿命 $t_{1/2}$ の測定から、以前の実験の値と矛盾しておらず誤差も小さく抑えた換算遷移確率 $B(E2)$ の直接精密測定に成功した。本実験は系統誤差が統計誤差の $1/10$ 程度と小さく、本実験以上の統計量を得ることでより精度の高い測定を行う余地が残っている。 ^{22}Na 、 ^{21}Ne についての測定も既存の値と誤差の範囲内で一致し、FRI-RDM 法が $1\text{--}100\text{ps}$ 領域で高精度で寿命を測定する有効な手段である事を検証した。FRI-RDM 法は Z が大きくなるほどピークの分離がしやすくなるという特徴があり、将来のより重い原子核や、より不安定な原子核の研究に非常に有効な手段となる事が期待される。