

論文審査の結果の要旨

氏名 三木謙二郎

本論文は、エネルギー 300 MeV/u の三重水素原子核 (t) による $^{208}\text{Pb}(t,^3\text{He})$ および $^{90}\text{Zr}(t,^3\text{He})$ 反応を用いて、荷電ベクトル型スピン単極共鳴 (原子核が荷電反転・スピン反転を伴いながら等方的に密度振動する共鳴状態) を同定した研究に関するものである。

本論文の第 1 章では、本研究の背景と目的が示されている。研究の背景としては、(1) 原子核物質を理解する上で重要な研究テーマである原子核の巨大共鳴のうち、荷電ベクトル型スピン単極共鳴状態 – IsoVector Spin Monopole Resonance (IVSMR) – の研究はほとんど進んでいないこと、(2) IVSMR の量子数 (角運動量 $\Delta L = 0$, スピン $\Delta S = 1$, 荷電スピン $\Delta T = 1$) はこれまで精力的に研究がなされてきたガモフテラー巨大共鳴 (GTGR) と同じであるが、GTGR が主量子数 (動径量子数) の変わらない $0\hbar\omega$ 励起であるのに対して、IVSMR は密度振動を伴う $2\hbar\omega$ 励起である点が異なること、(3) IVSMR には核内の中性子が陽子に転換する β^- 型と、その逆の β^+ 型があるが、そのどちらについても存在が実験的に示された例が乏しく、特に β^+ 型では皆無であること、(4) IVSMR と GTGR は共に単極型のスピンアイソスピン応答であるため分離は難しく、両者を実験的に区別した例は過去に存在しなかったこと、がある。そこで本研究は、先行研究で用いられた ^{208}Pb , $^{90}\text{Zr}(n, p)$ 反応よりも IVSMR を強く励起できると考えられる ($t, ^3\text{He}$) 反応を用い、「IVSMR(β^+) の同定」を目的として行われた。反応標的としては先行研究と同じく ^{208}Pb と ^{90}Zr を用い、(n, p) と ($t, ^3\text{He}$) のデータを組み合わせることで、IVSMR の同定をめざした。

第 2 章では、理化学研究所 RI ビームファクトリー施設 (RIBF) にて行われた ($t, ^3\text{He}$) 実験の詳細が述べられている。超伝導リングサイクロトロンで $^4\text{He}^{2+}$ を 320 MeV/u に加速して ^9Be 生成標的に照射し、破砕反応で生じた 300 MeV/u の t を破砕片分離装置 BigRIPS を用いて純度 $\sim 100\%$ で選択した。得られた t を反応標的に照射し、散乱された $^3\text{He}^{2+}$ を磁気スペクトロメータ SHARAQ を用いて運動量分析し、最終焦点面検出器で測定した。IVSMR の同定に十分な精度を保証するため、イオン光学の最適化などを行い、統計精度 3%、エネルギー分解能 2.5 MeV、角度分解能 0.4° を達成した。

第 3 章では SHARAQ スペクトロメータを用いた ^3He の識別と運動量分析、バックグラウンドの評価、微分断面積の算出など、データ解析の詳細が述べられている。

第4章では実験で得られたデータ、すなわち、入射エネルギー 300MeV/u における $^{208}\text{Pb}(t,^3\text{He})$ 反応、 $^{90}\text{Zr}(t,^3\text{He})$ 反応、それぞれの微分断面積スペクトルが励起エネルギー 0 – 40 MeV、散乱角 $0^\circ - 4^\circ$ の範囲で示されている。

第5章では、(1) 微分断面積スペクトルから単極成分を抽出する議論と、(2) 本研究で得た $(t,^3\text{He})$ スペクトルと先行研究の (n,p) スペクトルの比較により単極成分を更に IVSMR と GTGR に分離する議論が行われている。

まず、単極成分の抽出は、多重極展開の手法により行われた。この方法は、実験で得られた断面積角度分布に、歪曲波インパルス近似 (DWIA) によって角運動量ごとに計算された分布を最小二乗法で当てはめて、断面積を各々の角運動量成分に分解し、単極成分を抽出するものである。その結果、 ^{208}Pb 、 ^{90}Zr 双方の前方 0° の励起エネルギースペクトルに、大強度の単極成分が存在することが見出された。その分布は、 ^{90}Zr の方が ^{208}Pb に比して高励起側に広がっているが、これは $\hbar\omega$ が質量数 A の $-1/3$ 乗に比例することから理解される。

次に、先行研究で得られている (n,p) スペクトルに対しても同様に多重極展開解析を行い単極成分を抽出した。そして $(t,^3\text{He})$ 、 (n,p) それぞれに含まれる単極成分同士を比較したところ、 $(t,^3\text{He})$ スペクトルには (n,p) に比して統計的に有意な増分が確認された。本研究では、この増分を IVSMR と同定した。その断面積は、Pb で 31 ± 6 mb/sr、Zr では 65 ± 11 mb/sr であり、各々、DWIA 計算から予想された断面積の $150 \pm 28\%$ と $140 \pm 24\%$ であった。過去には、GTGR 断面積が理論予想に比して小さいこと (クエンチング) が原子核の Δ 粒子励起と関連づけられて盛んに議論され、IVSMR でのクエンチングの有無にも興味を持たれていたが、本研究ではクエンチングは観測されなかった。100% を超えている理由は、IVSMR と GTGR の干渉効果を無視したためである可能性があり、今後の課題である。

第6章では、本研究で得られた新しい研究成果が要約されている。

本論文は、IVSMR と GTGR を実験的に分離し、IVSMR(β^+) を明確に同定した初めてのものとして評価できる。実験は論文申請者を含む 24 名の共同で行われたが、論文提出者は実験の設計、準備、遂行において中心的役割を果たし、また、データ解析、理論との比較の全てを行っており、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。