

論文審査の結果の要旨

氏名 笹本 良子

本論文は7章からなる。第1章では、本研究の背景と目的が示されている。荷電ベクトル型スピン非反転 ($\Delta T=1$, $\Delta S=0$) 単極共鳴 (IVMR) は陽子密度と中性子密度がスピン変化を伴わずに逆位相で等方的に振動するモードである。そのエネルギーと幅は荷電ベクトル型非圧縮率に関係し、非対称核物質の性質理解に重要な情報を与えるため学術的意義は大きい。これまで IVMR に関する実験データが乏しい状況にあった。先行研究として (π^\pm , π^0) 反応や (^{13}C , ^{13}N), (^7Li , ^7Be) 反応を用いた実験があったが、パイオンの荷電交換反応は $\Delta T=1$, $\Delta S=0$ の選択性は良いがバックグラウンドが大きく、安定核の重イオン荷電交換反応では $\Delta S=0$ の選択性が低く、これまでの測定は β^+ 型のみで β^- 型は無かった。また実験データで互いに異なる結果を示す部分もあった。

本研究の新しい点は不安定核ビームを用いる事で ^{10}C の基底状態から ^{10}B の荷電類似状態 (IAS) への超許容フェルミ型の $0^+ \rightarrow 0^+$ 遷移を選択できる所であり、 β^- 型も実現している。これは $T=0$ の安定核ビームでは実現できないものである。本研究のエネルギー領域の重イオン反応では $\Delta T=\Delta S=1$ のスピン反転型ガモフテラー (GT) 状態への寄与が大きく、スピン非反転状態を選択する事が難しい。そこで本研究は GT 状態への寄与が小さい (^{10}C , $^{10}\text{B}\gamma$) 反応を利用し、1.74MeV の IAS からの 1022keV の γ 線を検出する事で ^{10}B 中の 0^+ 状態を同定して荷電ベクトル型スピン非反転型を選択的に励起するものである。本研究では反応標的 ^7Li , ^{90}Zr を用いて反応の有効性を明らかにする事を目的としている。

第2章では、理化学研究所 RI ビーム施設 (RIBF) で (^{10}C , $^{10}\text{B}\gamma$) 反応実験を遂行するために必要なビーム量、標的厚、エネルギー分解能等の実験条件に関する考察が示されている。

第3章では、実験セットアップの詳細が述べられている。実験は RIBF で実施され、破砕片分離装置 BigRIPS を用いて純度約 95%、強度 2×10^7 pps の ^{10}C ビームを得ている。また高分解能測定のため本研究では分散整合技術を適用するが、それに必要な高分解能ビームラインと SHARAQ スペクトロメータ、およびビームライン検出器、 γ 線検出器の詳細が記述されている。

第4章では、SHARAQ スペクトロメータでのイオン光学解析の詳細が示されている。必要な分解能を達成するには分散整合技術の適用が不可欠であるが、二次ビームの広い運動量・角度広がり、低いビーム強度などの困難を克服して効率的に短時間でビーム輸送を調整する方法について考察している。ビームラインを構成する電磁石に対して事前に精密な磁場測定を行い、その結果をイオン光学計算に組み込み、磁石の応答関数を得て短時間の調整を可能にしている。また新たにビームの運動量に依存しない量を導入し

て実験的に輸送行列を導出し、ビーム診断の調整法を確立している。この方法は本研究のみならず SHARAQ スペクトロメータを用いた実験全般に活用できるもので、論文提出者の貢献が大きい。

第 5 章では、SHARAQ スペクトロメータでの反応生成物の粒子識別、微分断面積の算出、 γ 線スペクトルとバックグラウンド、系統誤差の評価などデータ解析の詳細が述べられ、荷電ベクトルスピン非反転型遷移の指標となる 1022keV の γ 線ピークを確認している。

第 6 章では、まず ${}^7\text{Li}$ 標的の実験データから (${}^{10}\text{C}$, ${}^{10}\text{B}\gamma$) 反応のスピン非反転遷移へのプローブとしての有効性に関する議論を行っている。IAS より高い他の励起状態への遷移は実験とシミュレーションの比較から十分低い事を確認している。 ${}^7\text{Li}$ 標的とビームからの γ 線スペクトルの解析および角度分布の解析結果は $\Delta S=0$ の特徴を示しており、反応の有効性が評価できる。

次に ${}^{90}\text{Zr}$ 標的の実験結果を議論しているが、ターゲットからの γ 線バックグラウンドが大きく、その原因が考察されている。励起エネルギー 30–40MeV 領域での微分断面積の角度分布は前方ピークを示し、IVMR の存在と矛盾はしないが、統計量が不十分なため明確な結論を得るには至っていない。

更に (${}^{10}\text{C}$, ${}^{10}\text{B}\gamma$) 反応を使った IVMR 研究の見通しについて、(π^+ , π^0) 反応との比較と共に定量的に考察している。新型の γ 線検出器を導入すれば S/N 比を改善して ${}^{90}\text{Zr}$ 標的での IVMR 測定が実現できると期待される。

第 7 章では、本研究で得られた研究成果が要約されている。

本論文は、不安定核ビームによる重イオン荷電交換反応 (${}^{10}\text{C}$, ${}^{10}\text{B}\gamma$) でスピン非反転遷移の選択的励起に対する有効性を初めて示したものとして評価できる。実験は論文申請者を含む 38 名の共同で行われたが、実験課題の申請と実施に責任を持って行い、データ解析と物理量導出は論文提出者が主体となって行っている。特に SHARAQ スペクトロメータでのビームのイオン光学解析については中心的な役割を果たしており、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って博士（理学）の学位を授与できると認める。