

論文審査の結果の要旨

氏名 北村 徳隆

本論文は、以下の7章から構成されている。第1章は、論文全体のイントロダクションである。最初に、核図表において中性子過剰な領域の一部にみられる「反転の島」を紹介している。通常核では魔法数として知られる極めて安定な原子核マグネシウム (Mg) を例に取り上げ、中性子数が過剰な ^{32}Mg では魔法性が破れ不安定になること、これを原子核の殻模型の言葉で説明するならば、sd殻主成分の準位がfp殻主成分の準位と反転することによって起こること、を説明している。

これらの背景をふまえ、「反転の島」の近傍に位置する原子核(本研究においては ^{30}Mg)を対象に、そのエネルギー準位、スピン・パリティ、Spectroscopic Factorを高精度で測定し、中性子過剰核の殻構造に対する実験的知見を得ることの重要性を述べている。過去に行われた先行実験に見られる不自然な結果や、統計の不足についても言及があり、高統計・高精度の実験の必要性を強調している。

第2章では、本研究で用いた不安定核ビームを使ったガンマ線分光の実験原理を説明している。 ^{31}Mg ビームをBe標的に当て、中性子を1つ取り去って ^{30}Mg を生成する反応の詳細を議論している。また、実験結果からエネルギー準位を求め、スピン・パリティを決定し、Spectroscopic Factorを導出する方法を記述している。

第3章では、本研究で使った実験データを取得するためのセットアップを記述している。まず、ミシガン州立大学NSCL研究所の超伝導サイクロトロン加速器とビーム輸送系の詳細を述べている。次に、運動量の測定をするためにフォーカルプレーンに設置されたドリフトチェンバー、粒子の同定をおこなうためのイオンチェンバーと飛行時間測定カウンターの詳細と性能を記述している。

さらに、この実験の鍵となるゲルマニウム結晶を使ったガンマ線検出器について説明している。得られる信号の詳細、データに必要な補正をかけてエネルギーに変換するまでの手続きを述べている。

最後に、データ収集システムに関する説明と、取得したデータの詳細をまとめている。

第4章では、2つのステップで構成されるデータ解析の詳細を述べている。まず、フォーカルプレーンまで到達する粒子の運動量、飛行時間、イオンチェンバーにおけるエネルギー損失の情報を総合して ^{30}Mg を同定する。次に、2次標的の周囲に設置したガンマ線検出器で捉えたエネルギーを使って、 ^{30}Mg の励起エネルギー準位をはじめとする、各種の物理量を引き出している。

各検出機のデータに対してあてがう補正を説明し、その前後のデータを示しながら補正の効果を定量的に明らかにして、研究対象となる ^{30}Mg を明確に選択・同定していることを示している。次に、 ^{30}Mg の励起状態から放出されるガンマ線のエネルギーを精密に測定し、得られたエネルギー分布に多数のピーク構造が現れることを示している。さらに、ガンマ線が同時発生したイベントを選択して、カスケードに準位が遷移する事象を示している。また、 ^{30}Mg のinclusiveな断面積の算出方法、反応過程についてexclusiveな断面積の算出方法を説明している。

第5章では、本研究で得られた実験結果を示している。今回取得した高統計・高精度のデータを使って ^{30}Mg のエネルギー準位、スピン・パリティを決定した結果を示している。今回、明らかになったポイントは複数あるが、例えば5212 keVの新しい準位を発見したこと、2648 keVのパリティが正であることを確定したことがあげられる。また、各準位に対するSpectroscopic Factorを実験データから導出し、その結果を示している。

第6章では、実験結果について考察をおこなっている。1点目は、 ^{30}Mg のエネルギー準位について議論している。2468 keVのパリティは正であり、先行実験で負パリティをアサインしたのは間違いであったこと、2541 keVに負パリティをアサインした別の先行実験の結果も間違いであったことを示した。

2点目は、相互作用の詳細が異なる3種類の殻模型計算によるエネルギー準位の予測と今回得られた実験結果の比較をおこなっている。模型の相互作用の詳細によらず、エネルギー準位がよく再現されていることがわかった。一方、Spectroscopic Factorについては、どの模型もデータを完全に再現しておらず、相互作用の詳細に敏感であることがわかった。

第7章では、本論文の結論を述べている。反転の島の近傍に位置する ^{30}Mg のエネルギー準位、スピン・パリティを高統計で精密に測定した。結果を理論計算と詳細に比較し、エネルギー準位については計算がデータをよく再現することを示した。Spectroscopic Factorについては理論計算とデータが一致しない点を明確にし、反転の島が出現する様相を理論的に理解するために有効なデータを示した。

本論文は共同研究による成果であるが、論文提出者が主体的に実験を考案し、データ収集・解析をおこなったもので、論文提出者の寄与が十分であることは明らかである。

これらの結果、論文提出者は、物理学特に素粒子物理学について博士（理学）の学位を受けるにふさわしい十分な学識をもつものと認めた、審査委員全員により合格と判定した。