

(論文内容の要旨)

本申請論文は中性子過剰な不安定核 ^{13}B における陽子一粒子状態および陽子異常パリティ状態を、陽子移行反応 (α, t) を逆運動学で用いてインビームガンマ線分光によって探査した研究をまとめたものである。実験は理化学研究所加速器施設 RIPS コースにて行なわれた。核子あたり 50 MeV の不安定核 (^{12}Be) ビームを 200kHz の強度で $143\text{mg}/\text{cm}^2$ の液体ヘリウム標的に入射した。反応で励起された ^{13}B からのガンマ線は 6 台の位置感応型ガンマ線検出器からなる検出器群 GRAPE により測定され、既に知られている励起状態からのガンマ線が観測された。各励起状態への角度微分断面積は実験室系で 6 度まで測定され、歪曲波ボルン近似によって解析された。解析により導出された移行角運動量から 4.83 MeV の励起状態のスピン・パリティを $1/2^+$ と決定し、他の状態についてもスピン・パリティの候補を挙げた。4.83 MeV の励起状態の分光学的因子 C^2S は $0.20 \pm 0.02(\text{stat.})$ と決定された。ただし、歪曲波ボルン近似に用いられる光学ポテンシャルによっては 0.10 となる。陽子移行反応によって励起されたことと 4.83 MeV という比較的低い励起エネルギーを持つことから、この $1/2^+$ 状態は陽子異常パリティ状態であることが分かった。

実験で観測された陽子異常パリティ状態の励起エネルギー、スピン・パリティおよび分光学的因子を殻模型計算と比較した。計算では近傍核の中性子イントルーダを再現する相互作用を用いた。いくつかの低励起 $1/2^+$ 状態が得られたが、どの $1/2^+$ 状態も我々の実験結果とは一致しなかった。そこで、芯である ^{12}Be の変形を考慮して、変形の効果を定性的に考察した。変形殻模型における漸近的一粒子軌道に陽子が移行されるとすると、4.83 MeV の陽子異常パリティ $1/2^+$ 状態は簡単に $([220]1/2)^{+12}\text{Be}$ と表わすことができる。 $[220]1/2$ 軌道は変形とともに大きくエネルギーが下がるため、質量公式における表面項によるエネルギーの損を考えても、系全体として約 8 MeV のエネルギーを得することになる。このような系全体のエネルギーの変化は $1/2^+$ 状態の励起エネルギーが下がることをうまく説明できる。また、 $[220]1/2$ 軌道における $s_{1/2}$ の成分は 30% 程度と計算されており、この大きさも実験で得られた分光学的因子と一致する。したがって、原子核の変形を考えることによって陽子異常パリティ $1/2^+$ 状態の存在を端的に説明することができる。また、近年の分子動力学計算によれば、第一 $1/2^+$ 状態は大きく変形している状態とされており、また陽子がシグマ軌道とよばれる $[220]1/2$ 軌道に似た軌道に存在することも示唆されている。このことも本研究の結果をよく説明する。

本研究では、原子核の殻構造の変化を示す陽子異常パリティ状態が中性子過剰核 ^{13}B に存在することを明らかにし、この状態については、本質的な描像として原子核の変形を考えることが有効であることを示した。

(論文審査の結果の要旨)

本申請論文は、中性子過剰な不安定核の構造を、不安定核ビームによる逆運動学での核子移行反応と γ 線分光を用いて研究したものである。中性子過剰な不安定核では、原子核の魔法数が消滅するといわれており、核構造物理の大きな話題となっている。この論文では ^{13}B という中性子が魔法数 8 を持つ中性子過剰核をとりあげている。 ^{12}Be の不安定核ビームにより (α, t) 反応という陽子移行反応で ^{13}B をつくり、ここからの γ 線を観測してその励起状態をしらべている。不安定核ビームの (α, t) 反応はこれまでにない方法であるがその測定に成功している。逆運動学での核の励起状態からの γ 線は大きなドップラーシフトを受ける。このドップラーシフトを補正するためには γ 線の方法を正確に測定する必要がある。そのため申請者等は GRAPE という位置分解能の高い Ge 検出器を開発した。これは電子と正孔の Ge 結晶中の移動時間を測定することで、 γ 線の検出位置を決めるという画期的な方法をとっている。この方法により申請者等は 1mm という位置分解能を達成しており、実験技術上も重要な貢献となる結果を得たことはきわめて高く評価できる。

この Ge 検出器 (GRAPE) を用いて、いくつかの ^{13}B からの γ 線の測定に成功している。とりわけ 4.83MeV の励起状態からの γ 線が収量も多くはっきりと測定されている。申請者は、この状態について (α, t) 反応の角分布を求め、歪曲波ボルン近似による解析を行い、この状態が $J\pi=1/2+$ のスピンパリティを持つことを極めて明瞭に示した。この結果は ^{13}B の励起状態のスピンパリティをはじめて明確に決定した仕事として高く評価できる。またこの解析から spectroscopic factor を 0.2 と求めている。さらにそのほかの励起状態についても同様にスピンパリティの解析を行いユニークとはいかなかったが制限をつけることに成功した。

この実験により 4.83MeV の励起状態は、そのスピンパリティが $1/2+$ であることまた陽子移行反応で強く励起されることから、proton intruder 状態であることが明らかとなった。申請者は、この状態の構造についていくつかのモデルを使って調べた。通常の殻模型についてはいくつかの相互作用を使ってもこの状態を再現できないことを示した。一方 ^{12}Be のコアを大きく変形させると $1/2+$ の陽子軌道のエネルギーが大きく下がり、この 4.8MeV の状態を説明できることを示した。その結果申請者はこの proton intruder 状態がこの中性子過剰核の大きな変形によるものと結論している。この結果は最近の反対称分子動力学 (AMD) による計算結果とも定性的に一致するものである。このように本申請論文は中性子過剰核において新しい proton intruder 状態を発見し、その構造について新たな知見を与えたものとして高く評価できる。

なおこの論文の主要な部分は Physics Letters 誌に公表されている。

よって本申請論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。また、論文内容と関連研究分野に関する試問を行った結果、合格と認めた。