東京大学 原子核科学研究センター

井手口 栄治

1.はじめに

これまでに約 3000 種の原子核が発見されたが、大きさの違いはあるものの殆どの原子核 は変形構造を持つ。その多くはプロレート(葉巻型)変形を示すと考えてられているが、 オプレート(パンケーキ型)変形を示すものもあり、洋ナシ型変形を示唆する原子核[1]も 存在する。理論的にはバナナ型変形[2]や正四面体変形[3]を示す原子核なども予言されてい る。球形の原子核は陽子数または中性子数あるいはそのいずれもが魔法数(2,8,20,28,50, 82,126)となる場合に多く現れるが、近年の RI ビームを用いた不安定原子核の研究の結果、 例えば中性子数が 20 の魔法数となる原子核(32Mg)においては基底状態で大きな変形を示 す事が報告されており[4]中性子過剰領域での魔法数の破れの証拠となっている。また安定 核の二重閉殻(陽子数、中性子数ともに魔法数)核の 40Ca では基底状態近傍では球形であ るが、高スピン状態では超変形状態(長軸と短軸の比が約2:1と大きく変形したもの)が 現れることも実験により確かめられている[5]。

このように原子核は多様な変形構造を示すが、その極限とも言えるものが超変形状態や 未だ発見されていないハイパー変形状態(長軸と短軸の比が3:1の変形)である。超変形 状態は最初に超ウラン領域原子核の核分裂アイソマーにおいて発見されたが、1986 年に ¹⁵²Dy の高スピン領域で超変形回転バンドが発見されて[6]以来、EUROBALL や GAMMASPHERE などの大型のゲルマニウム(Ge)検出器アレイを用いてその探索が精力的に 行われた。これまでに主に質量数 40, 60, 80, 130, 150, 190 領域の原子核で超変形バンドが 発見され、更に他の質量数領域での探査も行われている。これらの超変形状態はいわゆる 超変形シェルギャップの存在のために現れると定性的に理解されるが、特定の領域に集中 して発見されているという実験結果はその存在を示唆している。それらの中で特異な特徴 を持つものとして 108Cd に現れる超変形バンドがある[7]。108Cd の超変形状態は米国アルゴ ンヌ国立研究所で GAMMASPHERE を用いた測定により発見された。ドップラーシフト減衰 法によりこの超変形バンド内準位の寿命測定がなされ、変形度の導出が行われたがこれま で観測された超変形バンドの中で最も変形度の大きい状態にあると報告されている。108Cd を含む質量数 110 領域は超変形状態が現れる新たな質量数領域となるが、まだ ¹⁰⁸Cd でし か発見されていない。ここに現れる大きな変形は陽子が high-j の i13/2(i=l+s, l=6, s=1/2)軌 道を占める事によって起こるのではないかと考えられている。このような大きな変形をも たらす i13/2 軌道は ¹⁰⁸Cd 周辺の原子核においても陽子が占める可能性は十分にあり、他の質 量数領域では多数の超変形バンドがある原子核の周りに集中して観測されているという事 から我々は ¹⁰⁸Cd のすぐ隣の ¹⁰⁷Cd で同様の超変形バンドを探索してみる事にした。

2.実験手法

実験は東北大学サイクロトロンラジオアイソトープセンター(CYRIC)で得られる核子当 り 6.5MeV の ²⁰Ne ビームを厚さ 0.5mg/cm² の ⁹⁶Zr 薄膜 2 枚を重ねたものに照射する事に よる核融合反応を用いて行った。CYRIC の 33 コースには Hyperball-2 と呼ばれる大型の Ge 検出器 7レイがある(図1)。このアレイはクローバー型 Ge 検出器 6 台および同軸型の Ge 検出器 14 台から構成され、各 Ge 検出器には BGO コンプトン抑止器が備わっている。 検出器はターゲットを中心にビーム軸に対して 90°付近を取り囲むように配置されており、 検出効率は 1MeV の 線に対して 4%程度である。本研究で使用する重イオン核融合反応に よる高スピン状態の探索では 線の多重度がかなり高いためコンプトン抑止器によるバッ クグラウンドの除去が非常に有効であり、 線識別のためには高分解能を有する Ge 検出器 の使用が必須となる。また高スピン状態からの多重 線が放出されるイベントを選択的に 取り出すためには多重同時計数トリガーが必要となる。このような条件をクリアーする Ge 検出器アレイとしては現在国内では Hyperball-2 が随一の性能を有する。



図1 .CYRIC 33 コースに 設置された Hyperball-2 アレイの写真。図の左上か ら右下に向かってビーム ラインがある。

我々は多重同時計数トリガーに加えて更なる S/N 比向上のため Si Ball と呼ばれるサッカ ーボール形 32 面体に配置された 30 台の Si 検出器で構成されるアレイ(図2)を Hyperball-2 の内側に組み込んで実験を行った。各 Si 検出器の厚さは 170 µm であり反応で放出される 陽子、 粒子に対する E検出器となっている。実験中に重イオンビームがターゲットで ラザフォード散乱して Si 検出器に当たりダメージを受けるのを回避するために各検出器の 前面にはアルミニウムの薄いアブソーバーフォイルが配置される。このアブソーバの厚さ は重イオンビームは通さないが陽子、 粒子は通過させる程度に設定されている。本研究 で調べる ¹⁰⁷Cd は 放出を伴うチャンネルであるため 粒子検出のゲート(図3)は S/N 比を 大幅に改善するのに役立った。

CYRIC の 33 ビームラインにこれらのセットアップを新たに組み込むため我々は東京大 学 CNS で製作した真空ダクト、ターゲットチャンバー、ビームライン架台(図 4)を持ち込 んで設置し実験を行った。ターゲットチャンバーの前後には ZnS 出し入れ機構を設置し、 実験中のビームプロファイルの確認のために使用した。



図 2 . Si Ball の写真。 真上の五角形 の穴を通して SiBall 内に置かれた ターゲットにビームが照射される。



図 3. Si Ball により得られた E スペクトル。 100 チャンネル付近のピークが陽子、300 チャン ネル以上の幅の広いピークが 粒子に対応する。



図 4 . CYRIC 33 コースに設置され た SiBall ターゲットチャンバーお よび Hibyerball-2。

ターゲットチャンバー(A)の前後に ビームプロファイルモニタ 用 ZnS 出し入れ機構(B)がある。図左 に見えるのがビームライン架台(C) の一部。

3.結果

実験データは 相関マトリックスおよび 相関キューブにソートし 線ピークに ゲートを掛けて 線同士の相関関係を調べてレベルスキームの構築を行った。図 5 に本実 験で得られた 線スペクトルを示す。図 5a は ゲートなしの 線全射影スペクトルであり、 図 5b は ゲートありの全射影スペクトルである。図から明らかなように ゲートを掛ける 事により Cd 同位体からの 線ピークを選択的に取り出すことが出来た。¹⁰⁷Cd の高スピン 状態はこれまでに 11.852MeV の(51/2+)準位までが報告されていた[8]。今回の実験により それらの既知の 遷移を確認することが出来たが、バンド構造を示す新たな4本のE2 線 カスケードを発見した。その慣性モーメントは超変形バンドに相当する大きな値を示した が、寿命測定に基づく変形度の導出を行う事は出来なかったため超変形状態の存在を確定 するまでには至らなかった。



図5.

実験で得られた 線の 全射影スペクトル。上図 (a)は ゲートなし、下図 (b)は ゲートありの場 合に対応する。 ゲート を掛ける事により Cd 同 位体起源の 線が選択 的に観測された。

4.今後に向けて

今回の実験では¹⁰⁷Cdの高スピン状態に超変形回転バンドの候補となる4本のE2 線カ スケード遷移を観測することができたが、超変形状態の存在を確かめるには統計の向上を 図ってバンド内遷移を更に発見し、ドップラーシフト減衰法による励起準位の寿命測定か らの変形度の導出が必要になる。今後も研究を進め質量数110領域での超変形状態を調べ て行きたいと考えている。更には他の質量数領域での超変形状態の探索やハイパー変形の 探索を目指して行きたい。

本研究は東京大学 CNS、東北大学理学部、CYRIC、京都大学、大阪大学、九州大学、理化 学研究所からの実験参加者の多大なる協力のもと行われた。また実験に際してご協力頂い た CYRIC の篠塚氏、涌井氏、伊藤氏、加速器オペレーターの皆様に感謝申し上げる。

参考文献

- [1] W.R. Phillips et al., Phys. Rev. Lett. 57, 3257 (1986).
- [2] S. Åberg, H. Flocard, W. Nazarewicz, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 40, 439 (1990)
- [3] S. Takami, K. Yabana, M. Matsuo, Phys. Lett. B 431, 242 (1998)
- [4] T. Motobayashi et al., Phys. Lett. B 346, 9 (1995)
- [5] E. Ideguchi et al., Phys. Rev. Lett. 87, 222501 (2001)
- [6] P.J. Twin et al., Phys. Rev. Lett. 57, 81 (1986)
- [7] R.M. Clark et al., Phys. Rev. Lett. 87, 202502 (2001)
- [8] D. Jerrestam et al., Nucl. Phys. A 545, 853 (1992)