

■原子核のエキゾチックな状態

重イオン未知重核研究グループ

■大 島 真 澄■

Exotic State in Atomic Nucleus

Masumi OSHIMA

Research Group for Exotic Heavy Nuclei

The present status and the future plan are described for nuclear structure investigation in the Research Group for Exotic Heavy Nuclei. Nuclear shape is strongly correlated with collective motion (vibration or rotation). In heavy-mass region, the presence of the large number of nucleons and high-spin single-particle orbits enhance the collective motion. We hope to identify an exotic nuclear shape and multi-phonon γ vibrational mode induced by such large-scale collective motion.

原子核は核子（陽子と中性子）が強く結合している強結合量子系であって、ほぼ球形の集合体であることが一般に信じられている。事実これまでに知られている原子核はその安定な状態（基底状態）においてはほぼ球形に近く、最も大きく変形した原子核でも長軸と短軸の長さ比は 1.3: 1 程度である。しかしながら、励起状態においてははるかに多様な様相があることが最近の研究からわかってきた。つまり図 1 の例¹⁾に見られるように、基底状態で球形であった原子核でも回転エネルギーを与えられると個々の核子の回転方向が整列してできるオブレイト（蜜柑型）変形状態が現われる。同時にこの領域ではより多くの核子が一緒に運動して出来るプロレイト（レモン型）変形の回転バンドが共存したりする。回転バンドとは内部状態が同じで全体の回転速度が異なる状態群を云い、図 1 の実線で結ばれた状態がそれに相当する。さらに高速回転すると、長軸と短軸の比が 2: 1 にもなる巨大変形（超変形）状態の回転バンドが現れる。

原子核のエキゾチックな変形はいかにして実現されるのか、何故 2: 1 なのか、安定な変形は如何に達成されるか、を考えてみよう。簡単のため楕円体変形

をした非等方調和振動子ポテンシャルを仮定すると核子の 1 粒子エネルギーは図 2 のようになる。この図から長軸と短軸の比が整数比になる場合にエネルギー密度の粗密が顕著になり、その結果図 2 の中で数字で示された魔法数が現れることがわかる。この特徴は一般には調和振動子からずれている現実的なポテンシャルにおいても定性的に成立することが多くの実験から明らかになった。陽子数、中性子数が魔法数になる原子核では結合エネルギーが増加するためにその変形状態が安定になる。2: 1 変形での魔法数 60 と 80 は現実的なポテンシャルを用いた計算では 66 と 86 になり、図 1 の¹⁵²Dy の場合に対応する。

現在までに希土類領域、水銀領域、ウラン領域の 20 以上の原子核で長軸短軸比 2: 1 の超変形状態が同定された。さらに軸比 3: 1 のハイパー変形状態がつい最近初めて報告されるなど変形殻模型²⁾の予言が目覚ましく実験的に検証されつつある。変形殻模型はさらに円盤型の超変形状態（軸比 1: 2）、また特に重核領域ではオクタポール（洋梨型）変形がハイパー変形と結合したバナナ型変形の存在も理論的に予言されている³⁾。高速回転する原子核では遠心力が球形に保とう

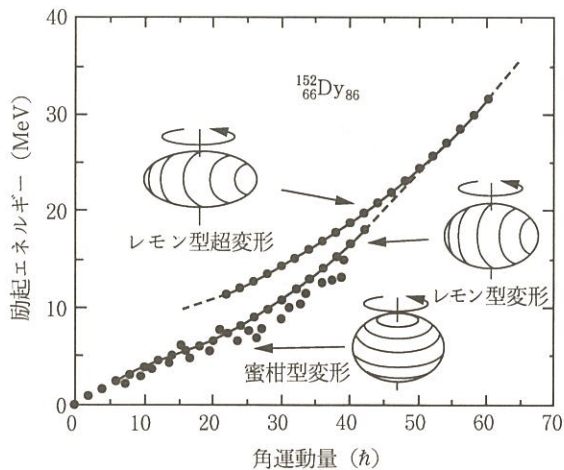


図1 ^{152}Dy の準位図
黒丸は準位、実線は回転バンドを表す。

とする表面力に打ち克つため、このような変形状態は高スピン（回転）状態において見つけやすい。

以上の回転モードとともに重要な集団運動モードとして表面振動がある。これまで多くの原子核においてベータ、ガンマ、オクタポールなどの振動状態が知られているが、現在のところその知識はほとんど振動量子数が1である1フォノン状態に限られる。振動量子数が2である2フォノンあるいはそれ以上の多フォノン状態を同定し、その調和振動からのずれを検知することは有限量子多体系の集団運動理論の基本に関わる問題である。我々はこれまでに中重核領域の ^{164}Dy , $^{166,168}\text{Er}$ において非軸対称振動であるガンマ振動の2フォノン状態を同定し、そこに大きな非調和効果があることを示した^{4,5)}。これに反してアクチノイド領域にある ^{232}Th では最近ほとんど調和振動に近い2フォノン状態が報告され⁶⁾、また ^{232}Th , ^{238}U において別種の異常に高い集団性を示す状態が報告される⁷⁾など、重核には従来の集団運動理論の予測を覆す現象がありその解明が待たれている。重イオンビームを用いたクーロン励起法によりこれらの未知現象を定量的に理解することが重要と考える。

以上の実験には主として原研タンデム加速器、および近く本格稼働する後段ブースター加速器を用いる。これらの研究にはさらに通称クリスタルボールと呼ばれる多重ガンマ線検出器が必要である。国内には

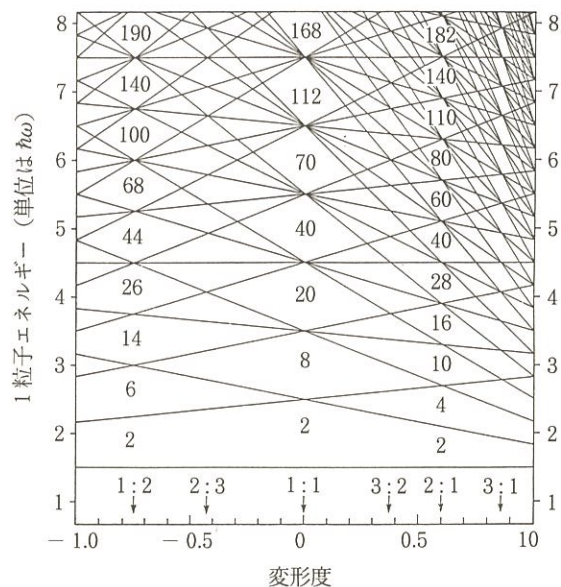


図2 軸対称調和振動子ポテンシャル中の変形度に対する1粒子エネルギー

これまで同種の装置はないため、超変形等の研究は行うことが出来なかった。我々は現在所外との協力により小型クリスタルボールを建設し、上記原研独自のテーマを含む共同実験を行うことを計画している。現在検討が進められている本格的な大型クリスタルボールが実現すれば、さらに強力にこれらの研究を推進することが可能になる。

参考文献

- 1) Twin, P. J. et al., Phys. Rev. Lett. **57**, 811 (1986).
- 2) Nazarewicz, W., Wyss, R. and Johnson, A., Nucl. Phys. **A503**, 185 (1989); Bohr, A. and Mottelson, B. R. in *Nuclear Structure*, Vol. II, p. 591, New York, Benjamin (1975).
- 3) Andersson, C. G. et al., Nucl. Phys. **A309**, 141 (1978); Bengtsson, T. et al., Physica Scripta **24**, 200 (1981).
- 4) Oshima, M. et al., Nucl. Phys. **A557**, 635 c (1993).
- 5) Oshima, M. et al., in *Proc. of IV Intern. Conf. on Selected Topics in Nuclear Structure* (Dubna, Russia July 6, 1994) to be published.
- 6) Korten, W. et al., Phys. Lett. **B 317**, 19 (1993).
- 7) McGowan, F. K. and Milner, W. T. Nucl. Phys. **A562**, 241 (1993); *ibid* **A571**, 569 (1994).