

# Microscopic study of various high-spin rotational states by the angular momentum projection method

嶋田, 充宏

<https://doi.org/10.15017/1654644>

---

出版情報 : 九州大学, 2015, 博士 (理学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 : 全文ファイル公表済

氏 名 : 嶋田充宏

論 文 名 : Microscopic study of various high-spin rotational states by the angular momentum projection method  
(角運動量射影法による様々な高速回転状態の微視的研究)

区 分 : 甲

### 論 文 内 容 の 要 旨

原子核には、独立粒子運動と集団運動という 2 つのモードがあり、それらの運動モードの競合が原子核の性質に大きく影響を与えている。原子核の多くは変形しており、変形している場合にはその破れた回転対称性を回復するために、回転運動が生じる。回転運動は基本的な集団運動の 1 つで、その微視的理解は重要であり、回転状態を微視的に記述する方法の 1 つとして角運動量射影法が知られている。原子核の性質を核図表全体にわたって記述する理論として、平均場理論 (Hartree-Fock-Bogoliubov 理論) が知られているが、平均場理論では、一般に回転対称性を破りうる。角運動量射影法では、この破れた回転対称性を回復させることで回転状態を記述する。これまでの研究により、効率的な計算法が開発され微視的に回転状態を記述することが可能になった [1]。最近では、加速器や測定器の発展により、原子核の角運動量の極限状態である高速回転状態が得られるようになり、その性質に興味を持たれている。また、高速回転状態は独立粒子運動と集団運動の競合を調べる上でも適した状態である。高速回転状態では、巨視的モデルにより様々な回転運動が示唆されているが、それらの微視的理解は必要不可欠である。本論文では、角運動量射影法を用い、微視的観点から有限量子多体系である原子核が示す回転状態のいろいろな可能性を分析する。

まず、角運動量射影法を高速回転状態に適用する前に、Mg 同位体の低スピン状態への適用を行った。加速器技術の発展に伴い、不安定核の実験データが蓄積され、「逆転の島」と呼ばれる領域の原子核に関する研究が注目を集めている。逆転の島内の核は「魔法数の破れ」といった安定核では見られない性質を示す。Mg 同位体はこの領域を横切っており、ドリップライン近傍までの励起エネルギーや電磁遷移確率などの実験データが揃ってきている。逆転の島の領域内の核である  $^{32}\text{Mg}$  の変形に関しては、平均場理論の計算においては球形を示すが、励起エネルギーや E2 遷移確率などの実験データは変形を示唆しており、矛盾している。しかし、角運動量射影まで考えることで、変形した状態が得られるようになり、角運動量射影は重要な役割を果たすことがわかる。また、この領域の原子核は、プロレート変形とオブレート変形の状態間のエネルギー差も小さく、変形度についての混合計算が重要である。そこで、変形度混合した角運動量射影計算を行い、励起エネルギーや電磁遷移、半径などについて調査した。フリーパラメータなしの計算にもかかわらず、実験との非常に良い一致が得られ、角運動量射影法が回転状態を微視的に考える上で有用な方法であることがわかった。

次に、角運動量射影法を用いた高速回転状態の計算において、より信頼性の高い状態を得るための方法として角速度混合した角運動量射影法を提案する [2]。回転状態を平均場理論の範囲内において記述する方法として、クランキング法が知られている。クランキング法では、角速度  $\omega_{\text{rot}}$  で一様

回転する座標系に移ることによって、回転運動が内部状態に与える効果を有効的に取り込むことができ、射影する内部状態を得るために、この方法がよく用いられる。角運動量射影法では、回転バンドに属するすべての状態が一つの状態からの射影によって得られるが、この時、どの角速度の状態を内部状態として用いればよいのかという問題が生じる。また、1つの角速度の状態からの射影計算では、慣性率が増加と共に一定もしくは減少し、現実的なスピン依存性とは異なった結果を示す。これら二つの問題を解決する方法が、角速度混合した角運動量射影法である。この方法では、角速度の異なる内部状態から射影して得られる状態を重ね合わせることで、回転状態を記述する。本論文では、典型的な回転バンドをもつ rare-earth 領域の基底状態回転バンドや、長軸と短軸の比が 2:1 程度の超変形核の回転バンドなどに適用し、この方法の有用性を示す。

最後に、非軸対称変形核の高速回転状態に現れる特徴的な回転バンドである **wobbling** 回転バンドと **chiral doublet** 回転バンドについて調査した。**wobbling** 回転とは、ある主軸周りの一様な回転運動において、その回転軸が振動する運動であり、フォノンの多層回転バンドが形成され、バンド間は強い電磁遷移で結びついている。 $^{163}\text{Lu}$  について射影計算を行ったところ、強い電磁遷移で結びついたフォノンの多層バンド構造が現れ、微視的にも **wobbling** 回転の存在が確かめられた。また、非軸対称変形度と **wobbling** バンドとの関係についても調査した。次に、非軸対称変形した核（コア）に、大きな角運動量を持った粒子と空孔が結合している状態を考えると、これらの三つの角運動量ベクトル（コア、粒子、空孔の角運動量ベクトル）は、互いに垂直となるような軌道を好む。この三つの角運動量ベクトルは、右手系と左手系という鏡映対称な二つの組み方をとれ、エネルギー的に縮退した回転バンドが現れる（**chiral doublet** バンド）。さらに **chiral doublet** バンドの特徴には、**M1** 遷移確率に現れるジグザグ構造がある。 $^{128}\text{Cs}$  や  $^{104}\text{Rh}$  について、バンドの縮退と **M1** 遷移確率のジグザグ構造が確認でき、微視的にも **chiral doublet** バンドが現れることがわかった。このように、高速回転状態を微視的に考える上でも、角運動量射影法は有用である。

## 参考文献

- [1] S. Tagami and Y. R. Shimizu, *Prog. Theor. Phys.* **127**, 79 (2012).
- [2] M. Shimada, S. Tagami and Y. R. Shimizu, *Prog. Theor. Exp. Phys.*, **2015**, 063D02 (2015)