

氏 名	やま がみ まさ ゆき 山 上 雅 之
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2388 号
学位授与の日付	平成 13 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
学位論文題目	対称性の制限の無い Skyrme-Hartree-Fock-Bogoliubov 法による不安定核のエキゾチック 変形の研究
論文調査委員	(主 査) 助教授 松 柳 研 一 教授 堀 内 昶 教授 川 合 光

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は二つの柱からなる。以下、各々の要旨を述べる。

(1)対称性の制限のない Cranked Skyrme-Hartree-Fock (SHF) 法による ^{32}S の高スピン・イラスト線の構造の研究

Skyrme 相互作用（密度に依存するゼロレンジ有効相互作用）を用いて平均場を selfconsistent に決定する方法は SHF 法とよばれ、これを回転座標系に拡張したアプローチは Cranked SHF 法と呼ばれる。近年、（3次元座標空間を格子に切り、離散的な格子上で波動関数表現する）3次元メッシュ表示と虚時間発展法を用いて Cranked SHF 法の解を求めるアルゴリズムが進展し、原子核の高スピン状態の研究に用いられるようになってきた。しかし、計算時間の制約のため、平均場の空間対称性に人為的な仮定がなされていた。すなわち、 (x, y) , (y, z) , (z, x) 面に関する鏡映対称性を仮定することによって $x > 0$, $y > 0$, $z > 0$ の $\frac{1}{8}$ 空間のみで計算していた。本論文の仕事によって初めてこの制限が除去され、全3次元空間で Cranked SHF 法の基本方程式を解く数値計算プログラムが開発された。

申請者は自ら開発したこの数値計算コードを用いて ^{32}S の高スピン・イラスト線の構造を分析した。 $^{32}\text{S}(N=Z=16)$ は超変形の魔法数をもつ原子核と考えられている。しかし、長軸と短軸の比が約 2 : 1 に巨大変形した超変形核はその変形に伴う魔法数の色々な領域で見つかっているにも拘らず、 ^{32}S では未発見である。このため、最近、その発見を目指して実験が行なわれている。本論文の数値計算の結果によると、この超変形状態は励起エネルギー約 10MeV から始まる規則的な回転バンドを成し、角運動量 $14\hbar$ 以上でイラスト状態（与えられた角運動量の下での最低エネルギー状態）となる。特に面白い理論的予測は、この超変形回転バンドが角運動量 $24\hbar$ で劇的な構造変化を起こして、より変形度の大きい（ハイパー変形とも呼ばれる）状態に転移するという結論である。

本論文のもう一つの重要な結論は角運動量 $5\hbar$ から $14\hbar$ のイラスト領域に（バナナ変形とよばれる） Y_{31} 変形した回転バンドが出現するとの理論的予測である。このような状態は先に述べた鏡映対称性の仮定を除去することによって初めて記述可能になったものである。この種のエキゾチック変形はどの原子核でも未だ見つからない。実験的検証が待たれる。

(2)対称性の制限のない SHF-Bogoliubov 法による陽子過剰 $N=Z$ 核での変形共存現象の分析とエキゾチック変形の探索

申請者は上に述べた Cranked SHF 法の計算コードを更に拡張して Cranked SHF-Bogoliubov 法の計算コードを開発した。これは対凝縮（pair condensation）を準粒子への Bogoliubov 変換によって取り込んだ、もっとも拡張された平均場近似であり、通常平均場近似が取り込む particle-hole 相関と対凝縮（pair condensation）をもたらし particle-particle 相関、hole-hole 相関の全体を selfconsistent に取り扱うものである。

申請者はこの計算コードを用いて $A=64-84$ 領域の陽子過剰 $N=Z$ 不安定核での変形共存現象を分析し、更に、軸対称性と空間反転対称性を同時に破ったエキゾチック変形の存在可能性を調べた。この領域の不安定核はごく最近になって実験可能になったものであり、今後これらの励起スペクトルに関するデータが得られるものと期待される。

計算結果によると、各々の原子核の基底状態の近傍で2-3個の解（SHF-Bogoliubov 法で求めたポテンシャルエネルギー

曲線の極小点)が競合し、核子数の変化につれてそれらの優劣関係が変化するため、基底状態の形が変化するとともに、基底状態とは異なった変形をもつ状態が低励起状態に出現する(変形共存現象)。この計算結果は既知の実験データの特徴をよく説明する。本論文の特に面白い結果は以下の二つのエキゾチック変形を理論的に予測していることである。

(a) $^{68}_{34}\text{Se}$ の基底状態はオブレート変形と Y_{33} 変形 (triangular shape) の重なりあった解に対応している。

(b) $^{80}_{40}\text{Zr}$ の励起エネルギー約 1MeV の領域に Y_{32} 変形 (tetrahedral shape, 正四面体型) した状態が現れる。

申請者はこれらのエキゾチック変形が出現する微視的メカニズムを分析し、変形シェル構造の形成とそれに伴う変形魔法の数によってこれらを説明している。

論文審査の結果の要旨

近年、3次元メッシュ表示と虚時間発展法を用いて効率よく Hartree-Fock-Bogoliubov (HFB) 方程式の解を求めることが可能になり、核構造物理学でよく用いられている。しかし、計算時間の制約のため、平均場の空間対称性に人為的な仮定がなされていた。すなわち、 (x, y) , (y, z) , (z, x) 面に関する鏡映対称性を仮定することによって $x>0$, $y>0$, $z>0$ の $\frac{1}{8}$ 空間のみで計算していた。申請者はこの制限を除去して完全な3次元空間で HFB 方程式を解くことに世界で初めて成功し、そのことによって得られた成果を本学位論文で報告している。

計算結果の中で特に新しく重要な成果は以下のような、空間反転対称性と軸対称性を自発的に破った平均場の解を発見したことである。

(1) ^{32}S の角運動量 $5\hbar$ から $14\hbar$ のイラスト領域に (バナナ変形とよばれる) Y_{31} 変形した回転バンドが出現する。このエキゾチック変形の出現には回転座標系でのコリオリ力による角運動量整列機構が重要な役割を果たしている。

(2) $^{68}_{34}\text{Se}$ の基底状態はオブレート変形と Y_{31} 変形 (triangular shape) の重なりあった解に対応している。一般に、オブレート変形は大きい m の Y_{3m} 変形を好み、プロレート変形は小さい m の Y_{3m} 変形を好む。

(3) $^{80}_{40}\text{Zr}$ の励起エネルギー約 1MeV の領域に Y_{32} 変形 (tetrahedral shape, 正四面体型) した状態が現れる。これは $N=Z=40$ がこの種の変形に対する変形魔法の数になっていることによる。

その他の重要な新しい成果は超変形状態と変形共存現象に関するものである。

(a) $^{32}\text{S}(N=Z=16)$ において、励起エネルギー約 10MeV から始まる超変形回転バンドが存在し、角運動量 $14\hbar$ 以上でイラスト状態となるとの理論的に予測を与えたこと。特に重要な点は、この超変形回転バンドが角運動量 $24\hbar$ で劇的な構造変化を起こして、より変形度の大きいハイパー変形状態に転移するという知見を得たことである。

(b) $A=64-84$ の $N=Z$ 不安定核では、各々の原子核の基底状態の近傍で HFB 方程式の2-3個の解が存在し、それらがエネルギー的に競合する結果、核子数の変化につれて基底状態の形が変化するとともに、基底状態とは異なった変形をもつ状態が低励起状態に出現することを示した。こうして、この領域の原子核における変形共存現象の系統的な微視的記述を与えたこと。そのなかで、 $^{94}_{42}\text{Mo}$ では約 1.5MeV の低励起エネルギー状態として超変形状態が出現するとの興味ある予言も与えている。

これらの理論的予測はこれから行なわれようとしている実験的研究に指針を与えるものであり、その意義は極めて大きい。よって、本論文は非常に優れた業績であり、博士(理学)の学位論文として価値の高いものと認める。なお、主論文および参考論文に報告された研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭諮問を行なった結果、合格と認めた。