

氏 名	稲 倉 恒 法
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2741 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 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	Study of New Region of Superdeformation with $A=30-50$ by means of the Symmetry-Unrestricted Cranked Skyrme-Hartree-Fock Method (対称性に制限を課さないクランクト-スカーム-ハートリー-フォック法による質量数 $A=30-50$ の新しい超変形領域の研究)
論文調査委員	(主 査) 助教授 松 柳 研 一 教 授 堀 内 昶 教 授 中 村 卓 史

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、対称性に制限を課さない Cranked Skyrme-Hartree-Fock (SHF) の方法を用いて、質量数 $A=30-50$ をもつ原子核における超変形状態の存在可能性とそれらの性質を系統的に分析したものである。前半では、 ^{40}Ca 周辺の中性子数 N と陽子数 Z が等しい $N=Z$ 核、後半では、中性子過剰の Sulfur 同位体が議論されている。以下、それぞれの要旨を述べる。

(1) ^{32}S から ^{48}Cr までの $N=Z$ 核における高スピン・超変形およびハイパー変形状態の研究

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、原子核の高スピン回転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。しかし、ごく最近、(申請者の共同研究者である) 山上氏がこの制限を課さずに全3次元空間で Cranked SHF 法の基本方程式を解く数値計算コードを世界に先駆けて開発した。これは対称性の制限のない Cranked SHF 法と呼ばれている。申請者はこの数値計算コードに更なる改良を加え、それを用いて ^{32}S から ^{48}Cr までの $N=Z$ 核における高スピン・超変形およびハイパー変形状態の存在可能性とそれらの性質を系統的に理論分析した。超変形状態とは長軸と短軸の比が約 2:1 の回転楕円体の形に巨大変形した原子核の準安定状態のことで、質量数 $A=150$ 領域の原子核をはじめ $A=190$ 領域などいくつかの領域で現在までに約200例発見されている。しかし、 $A=30-50$ 領域では未発見であった。ところが、ごく最近、 ^{40}Ca とその周辺の ^{36}Ar と ^{44}Ti で発見され、現在の核構造論のホットな話題になっている。 ^{40}Ca は核構造の標準的なモデルである $j-j$ 結合シェルモデルの魔法数 20 に対応する二重閉殻核で、その平均場は球対称と信じられてきた。このような原子核にわずか 5MeV 程度の励起エネルギーを与えるだけで、超変形状態が実現するとの実験事実は原子核構造に対する現在の描像に修正をせまるものといえる。申請者は Cranked SHF 計算の結果を徹底的に分析し、これらの超変形状態の微視的構造を明らかにし、なぜ、低励起状態にこのような巨大変形が実現するかを議論し、実験データの定性的再現に成功した。定量的にはどのような計算の改良が必要であるかも丁寧に議論している。更に、申請者は、今後の実験に理論的示唆を与える目的で、 ^{32}S から ^{48}Cr までの $N=Z$ 核における高スピン・イラスト状態 (与えられた角運動量をもつ励起状態の中の最低エネルギー状態) の構造を系統的に分析し、 ^{36}Ar , ^{40}Ca , ^{44}Ti , ^{48}Cr の高スピン状態において、超変形状態より更に巨大変形し、長軸と短軸の比が約 3:1 の回転楕円体の形をもつハイパー変形状態が存在しうことを理論的に示した。計算結果はこれらの超変形およびハイパー変形状態は鏡映対称性を破る変形振動モードに関してきわめてソフトであるが、かろうじて、そのような変形自由度に対して安定性を保っていることを示している。一方、これらの Hartree-Fock 局所平衡点の中間の変形領域では、多くの場合、鏡映対称性が破れている。申請者は、平均場にそのような対称性の破れが生ずる微視的メカニズムについても詳細な分析を遂行し、数値計算結果に対する興味ある理論的解

積も与えている。

(2) 中性子過剰 Sulfur 同位体における超変形状態の存在可能性とそれらの性質の研究

近年、不安定核ビーム施設の建設によって、中性子過剰不安定核の構造を実験的に研究する可能性が格段に広がりつつある。そこで、申請者は、対称性の制限のない Cranked SHF 法を用いて、近い将来実験が可能になると期待される中性子過剰 Sulfur 同位体における超変形状態の存在可能性を系統的に調べ、それらの性質を分析した。その数値計算結果は、 ^{36}S および中性子ドリップ線近傍の ^{48}S と ^{50}S の低励起状態に超変形状態の出現が期待されることを示している。特に興味深い点は、中性子ドリップ線近傍の ^{48}S と ^{50}S の超変形状態が超変形した中性子スキンを持つという計算結果である。中性子スキンとは核の表面の密度分布において主に中性子からなる層が形成されることを指すが、これまでは球形の中性子スキンが議論されてきた。申請者は巨大変形した中性子スキンの存在可能性を示しただけでなく、更に進んで、その存在は低励起モードの性質に大きな影響を与えることに注目し、これらの原子核の励起スペクトルを調べることによって実験的に検証することを示唆している。すなわち、申請者は Cranked SHF で得られた平均場の上で selfconsistent RPA (Random Phase Approximation) 計算を遂行して、励起モードの微視的性質を分析し、きわめて低振動数の新しいタイプの負パリティ振動モードが出現する可能性を示唆している。

論文審査の結果の要旨

申請者は対称性に制限を課さない Cranked Skyrme-Hartree-Fock (SHF) の方法を用いて、質量数 $A=30-50$ をもつ原子核における超変形状態の存在可能性とそれらの性質を系統的に分析した。超変形状態とは長軸と短軸の比が約 2:1 の回転楕円体の形に巨大変形した原子核の準安定状態のことで、質量数 $A=150$ 領域の原子核をはじめ $A=190$ 領域などいくつかの領域で現在までに約 200 例発見されている。しかし、 $A=30-50$ 領域では未発見であった。ところが、ごく最近、 ^{40}Ca とその周辺の原子核で発見され、現在のホットな研究テーマとなっている。 ^{40}Ca は核構造の標準的なモデルである $j-j$ 結合シェルの二重閉殻核で、その平均場は球対称と信じられてきた。このような原子核もわずか 5 MeV 程度の励起エネルギーを与えるだけで、超変形するという実験事実は大きな驚きであり、核構造理論からの説明が求められている。

申請者は論文の前半でこの問題を取り上げ、Cranked SHF 計算を遂行し、これらの超変形状態の理論的記述に成功した。更に、申請者は数値計算結果を徹底的に分析して、これらの超変形状態が低励起エネルギーで実現する微視的メカニズムを明らかにし、超変形状態の物理的理解を深めることに貢献した。続いて、申請者は、今後の実験に理論的示唆を与える目的で、 ^{32}S から ^{48}Cr までの $N=Z$ 核における高スピン・イラスト状態の構造を系統的に分析し、 ^{36}Ar 、 ^{40}Ca 、 ^{44}Ti 、 ^{48}Cr の高スピン状態において、超変形状態より大きく変形したハイパー変形状態も存在しうることを理論的に示した。更に、これらの超変形およびハイパー変形状態は鏡映対称性を破る変形自由度に関してきわめてソフトであることも示した。

論文の後半で申請者は、近い将来実験が可能になると期待される中性子過剰 Sulfur 同位体における超変形状態の存在可能性を系統的に調べ、 ^{36}S および中性子ドリップ線近傍の ^{48}S と ^{50}S の低励起状態に超変形の出現が期待されることを示した。特に重要な結果は、中性子ドリップ線近傍の ^{48}S と ^{50}S の超変形状態が超変形した中性子スキンを持つことを示したことである。申請者は更に進んで、Cranked SHF で得られた平均場の上で selfconsistent RPA (Random Phase Approximation) 計算を遂行して、超変形核の低励起モードの微視的性質を分析し、超変形した中性子スキンに伴ってきわめて低振動数の新しいタイプの負パリティ振動モードが出現する可能性を示唆している。この研究は今後、大きな発展が期待される。

以上の理論的予測はこれから行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試問を行った結果、合格と認めた。