

(論文内容の要旨)

原子核は励起状態として豊富な回転バンドを持つ。それは原子核の球形からはずれた様々の変形の反映である。量子多体系としての原子核にはどのような形状のものがあるのか、また、どのような微視的な機構でそのような形状が実現するのか、という課題は核子多体系物理学における基本的な課題の一つである。特に、エキゾチック変形と呼ばれる、軸対称性と空間反転対称性を同時に破った形の発現の可能性の探求とその微視的機構の解明は興味深い課題として注目を浴びている。

申請者は申請論文において、 ^{40}Ca 領域の主軸の比が 1 : 2 程度という超変形状態にある原子核でのエキゾチックな形状の実現の可能性を探るため、空間反転対称性を破る形状への励起モードの一つである 8 重極振動モードの性質を微視的模型を用いた計算で解析し、合わせてその実験的検証方法についての示唆を得た。

申請論文では ^{40}Ca と ^{44}Ti という近年超変形回転帯とみなされる状態群が同定された原子核が取り上げられた。 ^{44}Ti の超変形状態は、未だ実験的な確証は得られていないが、非軸対称であることが理論的に示唆されている興味深いものである。

申請者は、与えられた角運動量に対して最もエネルギーの低い状態（イラスト状態と呼ばれる）は変形 Woods-Saxon 形の範囲ではあるが軸対称性を仮定しない平均場模型で記述し、その上の振動励起状態は乱雑位相近似方程式を厳密に解いて求め、8 重極振動の性質の非軸対称変形度あるいは回転角速度への依存性を解析した。

^{44}Ti については、8 重極振動モードの性質が変形平均場の非軸対称度に依存してどのように変化するかが調べられた。各 8 重極振動モードは、シグネチャーと呼ばれる最長軸以外の主軸周りの 180° 回転に対応する変換演算子の固有値をよい量子数として持ち、基底状態の平均場が軸対称の場合には正、負のシグネチャー量子数を持つ 8 重極振動モードは縮退している。ところが、非軸対称度の増加に伴ってそれら縮退していたモードがシグネチャーの符号に大きく依存して性質を異にしていくことが見いだされた。より具体的には、超変形のイラスト状態への E3 遷移強度がシグネチャーの符号によって大きな差が生じた。申請者はこれより、 ^{44}Ti の超変形状態の上に 8 重極振動モードが観測された場合に、それらの間の E3 遷移強度を測定すれば、その超変形状態の非軸対称性を実験的に検証することが出来ることを指摘した。

^{40}Ca については、8 重極振動モードの性質が変形平均場の回転運動の角速度に依存してどのように変化するかが、コリオリ力による 1 粒子軌道の性質の変化に着目して調べられた。角速度の増加に伴うコリオリ力の増大により 1 粒子軌道のエネルギーが減少していくために、角速度が小さい場合に比較的大きな励起エネルギーを持った単純な 1 粒子-1 空孔的な励起モードの一つが、その励起エネルギーを減少させていき、さらに、比較的小さな励起エネルギーを持った集団的な励起モードとの準位交差による状態混合のためには集団運動性を獲得することが分かった。このことから申請者は、高スピン領域で 8 重極振動モードがソフト化し、回転速度をより増大させたその先に空間反転対称性を破った変形状態が現れるだろうという予想を得た。この振動モードは軸対称性を破ったバナナ形の性質を持ったものなので、ここで予言される変形状態は軸対称性も破っていることになる。申請論文はこうして、これまでどの核でも見つかっていなかったエキゾチック変形状態が高スピン状態の ^{40}Ca に於いて実現される可能性があることを明らかにした。

(論文審査の結果の要旨)

^{40}Ca 領域の原子核は軽い核で特有のクラスター的な様相とこれより重い核で妥当な平均 1 体場形成とが競合する複雑な量子多体系である。したがって、その微視的理論による構造の理解は核子多体系の物理学における基本的でチャレンジングな課題である。この論文は、平均場描像に基礎を置き、 ^{40}Ca 領域の原子核に軸対称性あるいは同時に空間反転対称性も破る変形状態 (エキゾチック変形状態) が実現するかどうかを明らかにしようとしたものである。

この論文で取り扱われている ^{40}Ca と ^{44}Ti に於いては超変形回転帯が近年の実験で同定され、これらの超変形状態の上には空間反転対称性を破る形状への励起モードである集団的な 8 重極振動モードが存在し得ることが近年の理論的研究により示唆されている。 ^{44}Ti の超変形状態は軸対称性を持たない可能性を指摘する先行的理論的研究も存在する。このような研究状況に基づき、申請者は、これらの超変形状態の上の 8 重極振動の性質が非軸対称変形度及び回転角速度の大きさへの依存性を微視的計算によって求め、これらの原子核においてエキゾチック変形が実現する可能性を議論している。用いられている手法は、変形 Woods-Saxon 平均場模型に基づいた乱雑位相近似である。ここで扱う問題では次の二つの効果を取り入れることが必須である。すなわち、1) 平均場の非軸対称性、2) 回転の効果、である。本論文はこれら二つの条件を十全に取り入れた初めての微視的な計算であり大いに評価できる。

^{44}Ti については、8 重極振動モードの性質が変形平均場の非軸対称性の度合い (非軸対称度) に依存してどのように変化するか調べられている。その結果、平均場が軸対称である場合には縮退していた正、負のシグネチャー量子数を持つ 8 重極振動モードの性質が、非軸対称度の増加に伴って大きく隔たったものになり、超変形のイラスト状態への E3 遷移強度に大きな差が生じることを見いだしている。申請者はこの結果から、非軸対称な形を持った状態を実験的に検証する以下のような興味深い方法を提案している。すなわち、 ^{44}Ti の超変形状態の上に二つの 8 重極振動モードが観測された場合、それは非軸対称な変形状態が存在する可能性を示しており、それら二つの状態からの E3 遷移強度を測定し、両者に大きな差が出れば非軸対称性の証拠となる。

^{40}Ca に対しては、回転運動の角速度の増大に伴い 8 重極振動モードの性質がどのように変容し集団運動性を獲得するかについて調べられている。その結果、角速度が小さい場合に比較的高いエネルギーを持つある種の単純な 1 粒子-1 空孔状態が、角速度の増大に伴いコリオリ力の効果による回転整列のためにその励起エネルギーを減少させ、比較的小さな励起エネルギーを持った集団的な励起モードに変容していくことが見いだされている。さらに興味深いことはこの振動モードが軸対称性を持たないバナナ形に変形させるモードであることである。小笠原氏はこのことから、さらなる高スピン領域では空間反転非対称かつ非軸対称な 8 重極振動モードがソフト化してエキゾチック変形状態が実現されるという予言を行っている。このようなエキゾチック変形した状態は今のところの原子核に於いても観測されておらず、上記のことは高スピン状態の ^{40}Ca に於いてエキゾチック変形状態が発見される可能性を具体的に示唆するものとしてたいへん重要であり、実験研究へのインパクトも大きいと言える。

このように、本論文は十全な微視的理論に則り、量子多体系としての原子核における非軸対称変形あるいはエキゾチック変形状態の発現の可能性とその微視的機構を明らかにし、実験への示唆を行った重要な研究成果である。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。