

氏 名	よし だ けん いち 吉 田 賢 市
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 3131 号
学位授与の日付	平 成 19 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	Pair correlation and continuum coupling effects on low - frequency modes of excitation in deformed neutron-rich nuclei (変形した中性子過剰核の低励起モードにおける対相関と連続状態の効果)
論文調査委員	(主 査) 助教授 松 柳 研 一 教 授 畑 浩 之 助教授 延 與 佳 子

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、最も一般化された平均場近似である Hartree-Fock-Bogoliubov 理論に基づいて準粒子 RPA 計算を遂行し、変形した中性子過剰核の低励起状態に新しい型の集団励起モードが出現する可能性を理論的に明らかにしたものである。準粒子 RPA は平均場の平衡点のまわりの振動運動を微視的に記述する標準的なアプローチであるが、中性子過剰な不安定核の場合には従来なかった新しい問題に直面する。これらの不安定な原子核においては中性子のフェルミ面がゼロエネルギーに近くなり、弱く束縛された中性子ペアは容易に連続状態に励起する。このため、一粒子束縛状態を仮定した BCS 理論によって対相関を記述しようとする中中性子ペアが原子核から流出してしまう。この困難を避けるためには実座標空間を格子に切り大きい Box の境界条件の下で Hartree-Fock-Bogoliubov 方程式の自己無撞着解を探せばよいことは知られていた。しかし、計算量が膨大になるためにこれまで平均場が球対称な場合しか研究されてこなかった。本論文で申請者は平均場が軸対称変形している場合に準粒子 RPA 計算を遂行することに成功した。これは 1 次元の格子空間から 2 次元の格子空間に拡張することによって行われた。平均場の変形、核子ペアの対相関、核子の連続状態への励起の 3 要素を取り込んだ準粒子 RPA 計算は本論文が初めてである。きわめて多数の原子核は 4 重極型の軸対称変形していると考えられているので、この拡張の意義は極めて大きい。

本論文では最初に対相関を無視した RPA 計算を行い、幾つかの具体例をあげながら、中性子ドリップ線近傍にある不安定核では、弱く束縛された準位から共鳴準位への 1 粒子励起でも、その波動関数が核の表面から外側に大きく広がっているために、著しく強い遷移強度をもつ場合があること、しかし、対相関なしではいろいろな 1 粒子 - 1 空孔励起の間のコヒーレンスが生じないため集団振動モードは現れないことを示した。続いて、対相関を取り入れて系統的な準粒子 RPA 計算を遂行し、その結果に基づいて、四重極変形の増大につれて 1 粒子エネルギーの下がるプロレート準位と上がるオブレート準位の準位交差点の近傍で、平均場の変形度の揺らぎと対相関による中性子のペア分布の揺らぎが強く結合し、集団性が著しく強い振動モードを生み出すこと、これらは中性子スキンの振動とみなすことができる、等々、いくつかの非常に興味ある理論的予言を与えている。さらに、変形した平均場のゼロエネルギー近傍において特定の一粒子準位が特異な振る舞いをすることも示している。

これらの理論的予言は 2007 年から始まる理化学研究所 RI ビームファクトリーにおける不安定原子核構造の研究に理論的指針を与えるだけでなく、世界的な規模で推進されている不安定核ビームを用いた核構造研究プロジェクトに極めて有用な情報を提供するものとなっている。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

申請者は過剰な中性子を沢山含んだ不安定核の低励起状態に新しい型の集団モードが出現する可能性を動的な平均場理論に基づいて綿密に分析し、中性子スキンの振動自由度が関与したモードなど幾つか興味ある集団励起モードの出現を予言した。

これらの理論的予言は2007年から始まる理化学研究所 RI ビームファクトリーにおける不安定原子核構造の研究に理論的指針を与えるだけでなく、世界的な規模で推進されている不安定核ビームを用いた核構造研究プロジェクトに極めて有用な情報を提供するものとなっている。

本論文の理論的アプローチは平均場と対相関を自己無撞着に取り扱う Hartree-Fock-Bogoliubov の方法を基本として、一般化された平均場の時間変化を線形近似で取り扱うことによって、平衡点まわりの振動運動を微視的に記述するものである。このアプローチは準粒子 RPA とよばれ、核構造を記述する標準的な方法として知られている。しかしながら、従来の方法では中性子過剰な不安定核は取り扱えない。特に、中性子ドリップ線近傍では完全に破綻する。なぜなら、これらの不安定核においては、弱く束縛された核子が連続状態に励起し、一粒子束縛状態近似を前提として BCS 理論によって対相関を記述する従来の方法では、中性子のペアが連続状態に励起し跳散してしまって、原子核を壊してしまうからである。この困難は大きな Box の中で実座標空間を格子に切り、Hartree-Fock-Bogoliubov 方程式の自己無撞着解を求めることによって克服できる。このアプローチでは連続状態が離散化されるが、Box を十分大きくとれば良い近似になることが分かっている。ただし、このようなアプローチはこれまで平均場が球対称な場合しか実行されていなかった。本論文の新しい点は、このアプローチを平均場が球対称性を破っている場合に拡張したことである。ただし、軸対称性は残っていると仮定している。それでも、球対称な場合に動径座標だけを取り扱う1次元格子から2つの座標による2次元格子への拡張によって計算の困難は桁違いになり、これまで誰も実行できなかった。圧倒的に多数の原子核は軸対称変形しているので、この拡張の意義は極めて大きい。すなわち、申請者は不安定核における平均場の変形と対相関、連続状態への励起という3つの基本要素を取り入れた準粒子 RPA 計算を世界に先駆けて遂行した。

その結果、1) 中性子ドリップ線近傍にある不安定核では、弱く束縛された準位から共鳴準位への1粒子励起でも、その波動関数が核の表面から外側に大きく広がっているために、著しく強い遷移強度をもつ場合があること、2) 四重極変形の増大につれて1粒子エネルギーの下がるプロレート準位と上がるオブレート準位の準位交差点の近傍で、平均場の変形度の揺らぎと対相関による中性子のペア分布の揺らぎが強く結合し、集団性が著しく強い振動モードを生み出すこと、これらは中性子スキンの振動とみなすことができる、等々、いくつかの非常に興味ある理論的予言に到達した。それらの意義は極めて大きい。

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諮問を行った結果、合格と認めた。