

氏 名	谷 口 億 宇
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 3241 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 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	Clustering and Deformations in <i>sd</i> -shell Region (<i>sd</i> 殻領域におけるクラスター化と変形)

論文調査委員 (主 査) 延 興 佳 子 教 授 川 合 光 教 授 今 井 憲 一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、原子核の内部変形とクラスター構造に着目して、*sd*殻領域の原子核における基底状態および励起状態の構造について研究したものである。

*p*殻領域のように軽い原子核ではクラスター構造が発達しやすいことが知られている。一方、質量数が非常に大きな原子核の構造は平均場描像によって理解できることが知られており、変形場変形による内部変形から構成される回転帯が知られている。*sd*殻領域の原子核では変形共存やクラスター構造が示唆されており、この領域においてはクラスターと平均場の二つの性質が共存・競合して多様な構造が現れることが期待される。しかしながら、クラスター相対運動と平均場の変形の自由度を統一的に扱った理論的研究はこれまでほとんど無かった。

本研究では、反対称化分子動力学法 (AMD) を用いてクラスター相対運動と平均場の変形の効果を同時に取り入れることによって、*sd*殻領域原子核における変形共存やクラスター構造を統一的に研究した。まず、理論模型として平均場変形の効果を取り入れるために変形ガウスで記述された AMD 波動関数および四重極変形度 β に拘束条件を課した変分法を採用した。さらに、*sd*殻領域におけるクラスター構造を記述するために、AMD 波動関数において核子波束の多中心間距離を拘束条件にかすという方法を提案し、疑クラスター間距離の運動の自由度を取り込める新しい手法の形式化を行った。

反対称化分子動力学の手法を用いて、 Z (陽子数) = N (中性子数) が偶数の *sd*殻原子核の変形状態を系統的に研究した結果、この領域の原子核において現れる変形状態にはクラスター構造が重要な寄与を与えていることを示した。例えば、 ^{20}Ne , ^{24}Mg , ^{32}S では、四重極変形エネルギー曲線上での構造変化を調べると、変形の大きな領域では単純な変形平均場の構造だけではなく、それぞれ α - ^{16}O , α - ^{20}Ne , ^{16}O - ^{16}O クラスターの構造が出現した。これは、これらの原子核の構造を理解するためには、クラスター相対運動と平均場の変形を統一的に扱うことが特に重要であることを示す結果である。

さらに ^{40}Ca について、変形度拘束法と疑クラスター間距離拘束法の両方を適用して構造計算を行い、観測されている変形回転帯の実験データの比較しつつ諸性質を議論し、クラスター構造と平均場の構造に着目して基底・励起状態の構造を理論的に解明した。具体的には、平均場的構造、 α - ^{36}Ar , ^{12}C - ^{28}Si クラスター構造波動関数を重ね合わせて低エネルギー領域の状態を記述した。理論的に得られた計算値は、通常変形状態および超変形状態の電気四重極遷移強度や慣性モーメントの実験値をよく再現している。また、それぞれの内部構造を解析した結果、これらの変形状態はそれぞれ非軸対称変形を持っていることを理論的に予言した。さらに、理論的に得られた通常変形状態、超変形状態には、それぞれ、 α - ^{36}Ar , ^{12}C - ^{28}Si クラスター構造成分が含まれることを示した。また、高励起状態に発達した α クラスター状態が出現することを指摘し、通常変形状態における α - ^{36}Ar クラスター相対運動が励起した状態と見なすことができるといふ新しい知見を得た。このように ^{40}Ca において、低エネルギー状態に出現する変形状態を理論的に記述することに成功し、これらの変形状態が単純な四重極変形だけでなく非軸対称性やクラスター成分を含んでおり、その寄与によってサイド回転帯やクラスター励起による回転帯など新たな励起状態が出現する可能性を示した。このことはクラスター構造やそれに起因したクラスター励起モ

ードが ^{40}Ca においてもなお現れることを示しており、より重い質量数領域においてクラスター構造が核構造の重要な性質の一つであることを示唆する結果である。

論文審査の結果の要旨

本研究はsd殻原子核の変形構造とクラスター構造を系統的に調べた理論研究である。“疑クラスター”という概念を新たに導入して反対称化分子動力学（AMD）法を拡張し ^{40}Ca に適用した。主に軽い原子核領域に限られていたクラスター研究を、本論文の一連の研究において質量数40以上の領域に展開させたことは画期的な成果である。概要にも述べられたように、質量数が非常に大きな原子核の構造は平均場描像によって理解できることが知られている一方で、p殻領域のように軽い原子核ではクラスター構造が発達しやすい。このためsd殻領域に現れる様々な変形回転帯を系統的に理解する上ではクラスター相対運動と平均場の変形の自由度を統一的に扱うことが重要と期待されるが、そのような理論的研究はこれまでほとんど無かった。本論文では、“疑クラスター”という概念を導入して拡張されたAMD法を形式化し、中重核における平均場とクラスターの性質を両方記述することに成功した。新たに形式化された理論手法はProg. Theo. Physics. 112, 475 (2004)に公表されている。

本論文における主要テーマの一つである ^{40}Ca 原子核は、近年、 γ 線測定の実験により非常に大きな変形をした超変形状態が存在していることが明らかになり、この原子核における球形、通常変形、超変形の変形共存現象が大きな注目を集めている。本研究では電気的四重極遷移強度の実験データを理論的に再現することに成功し、例えば以下の点でオリジナルな理論結果を提唱した。

- ・ 励起した α -クラスター状態が現れることを予言し、それが通常変形における α -クラスター成分の相対運動励起モードと解釈できること。
- ・ 通常変形と超変形は非軸対称性をもち、軸対称性の破れに起因したサイド回転帯（主要回転帯の近くに現れる $K=2$ 量子数の状態）が出現する可能性を示唆した。

これまでは、例えば平均場のアプローチなどによる ^{40}Ca 構造の研究があるが、クラスター成分の分析やクラスター励起の効果は記述できない枠組みであり、また、非軸対称についても量子論的な回転まで考慮した研究はほとんどなく、その意味で理論モデルの進展による実験データの再現、および、新しい知見とオリジナルな理論的予言を提唱した研究として評価できる。上述の ^{40}Ca の構造研究の内容はPhys. Rev. C 76, 044317 (2007)において公表されている。

本研究で採用している反対称化分子動力学（AMD）という手法は、十数年前に提唱されて以来、軽い原子核領域を中心に核構造研究に用いられており、注目された核構造モデルの一つである。この手法に改良を加え、sd殻領域の変形回転帯を記述し、電気的四重極遷移強度の実験データを定量的に再現できたことは重要な進展である。さらに本論文で“疑クラスター”という概念を導入して拡張されたAMD法を形式化し、平均場とクラスターの性質が中重核において共存するということを示したことは、原子核の構造研究の中で大きな物理的意義をもつ。

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。