

氏名	えん よ よし こ 延 興 佳 子
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 1689 号
学位授与の日付	平 成 8 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 第 二 専 攻
学位論文題目	反 対 称 化 分 子 動 力 学 に よ る 軽 い 不 安 定 核 の 構 造 の 研 究

論文調査委員 (主査)
教授 益川敏英 教授 九後太一 教授 今井憲一

論 文 内 容 の 要 旨

近年、大きい強度の不安定核ビームを二次ビームとして作る実験技術が進展し、不安定核の広大な領域が研究の本格的対象となっている。従来の原子核物理学は安定核に対する知見に基づいて構築されて来たので、不安定核物理研究への期待は極めて大きい。実際、この分野の研究は初期的段階であるのに、安定核領域とは異なった多くの新しい知見が既に得られており、この期待を裏書きしている。申請論文の研究は、軽い原子核の領域に於いて、安定核から不安定核までの広い核種を系統的に理論研究し、統一的理解を得ることを目的としたものである。それにより不安定核の性質を理解し、更には理論的予測を行うのみならず、安定核の性質の理解も深め検証することを目指したものである。

軽い安定核の研究の示すところによれば、安定核領域においては、殻模型構造とクラスター構造とが共存している。従って安定核から不安定核までの広い核種を系統的に研究するためには、これらの異なった二つの構造をとともに記述できる理論を用いる必要がある。ハートリーフォック理論は平均場近似の理論であるので用いる訳にはいかない。また一方、クラスター構造が現れるかどうか分らず、現れるにせよどのクラスターが現れるのかその種類を分からない状況に於いては、従来のクラスター模型を用いる事も出来ない。それは、従来のクラスター模型ではどのクラスターが現れるかは実験情報により決めていて、理論的に予測する能力が殆ど無いからである。申請論文の研究の重要な貢献の一つは、反対称化分子動力学理論を用いることにより、この様な困難を回避して、安定核から不安定核までの広い核種の系統的な研究を初めて行ったことにある。

反対称化分子動力学は核反応の微視的なシミュレーション理論としても多くの成功を収めているが、体系の波動関数として核子のガウス波束のスレーター行列式を用いるもので、多くのパラメーターを用いることにより体系の多様な状態を柔軟に表現することが出来る。多くのパラメーターの値は摩擦冷却法という新しい強力なエネルギー変分の方法で決定する。反対称化分子動力学の最も重要な特長の一つは、模型仮定を導入せずに核構造の研究を行うことの出来る理論形式であるということである。反対称化分子動

学は安定核の領域で、殻模型構造やクラスター構造の典型的状態をどちらも的確に記述できることが既に検証されており、申請論文はその成果に基づいて、安定核から不安定核までの広い核種の系統的な研究を行った。

申請論文の対象とした原子核は、Li, Be, B, Cの軽い原子核のアイソトープで、核半径、結合エネルギー、励起スペクトル、磁気双極子能率、電気四重極能率、電気四重極遷移などの物理量につき理論値を実験データと比較した。その結果少数の例外を除いて実験値の見事な再現が得られることが示された。特に磁気双極子能率、電気四重極能率の広い核種に亘っての系統的再現は申請論文の研究によって初めて得られたものであり、極めて大きい成果である。実験値の再現の悪い少数の例外というのは、 ^{11}Li , ^{11}Be といういわゆる中性子ハローを持った原子核の核半径などの物理量であり、その再現の悪い理由は明らかで、波動関数の改良の指針も明らかなものである。中性子ハローは最外殻の中性子の一粒子波動関数が小さい結合エネルギーの為長く裾野を伸ばしているものであるので、一粒子波動関数を一つのガウス波束で表すのではなくガウス波束の重ね合わせで表すことで解決できるものである。

申請論文が提出している新しい核構造の描像は多岐に亘り、極めて重要な問題を多数提起している。実験を見事に再現する波動関数を分析した結果、それらの波動関数の性質の特徴のうち際だったものとして以下のものが得られた。まず、安定核領域では、よく知られた ^7Li や ^8Be の $\alpha+t$ 構造や $\alpha+\alpha$ 構造が確かに得られ、中性子数 N が魔法数 $N=8$ ではどのアイソトープもほぼ球形の密度分布を持つ。中性子数が $N=8$ を越えて更に中性子過剰となると、BeとBに於いては二体クラスターの構造が再び成長する。中性子ドリップ線近傍では、どのアイソトープも変形している。多くの核種に於いて、特にCのアイソトープでは顕著に、陽子と中性子の変形がその符号（葉巻型かパンケーキ型か）まで含めて異なっている。この最後の結果は安定核領域での常識から大きく逸脱している。これらの理論予言は多くの実験研究を誘起することが十分に予想される。

申請論文の内容は2編の発表論文を基礎にしている。参考論文1編は申請論文に関係した内容の先行論文である。

論文審査の結果の要旨

不安定核の構造の実験的研究は近年急速に進展し、原子核研究の広大な新しい分野を切り開くべく我国を含め先進国の大きな実験研究所の中心的な研究計画となっている。実験情報が急速に蓄積されてきているとは言え、安定核領域に比べれば情報量はまだ圧倒的に少なく、不安定核領域は未知領域と言える。この状況に於いて、不安定核の理論的研究の方法の中心は安定核研究に於いて構築された様々なモデルを適用するというものである。しかしながら、少ない実験情報のもとでは、モデル仮定を前提とした議論には仮定自身の当否が明かでないための限界がある。申請論文は反対称化分子動力学を用いた系統的研究を行うことにより、このような欠陥を取り除いた形での理論研究を行い、多くの成功を取めると共に今後のこの分野の研究に様々な重要な問題提起を行ったものである。

申請論文が採用した反対称化分子動力学は、体系の波動関数として核子のガウス波束のスレーター行列式を用いるもので、多くのパラメーターを用いることにより体系の多様な状態を柔軟に表現することが出

来る。反対称化分子動力学は核反応の微視的なシミュレーション理論としても多くの成功を収めているが、この波動関数の柔軟性により反応途中の系の様々な状態を的確に記述出来ていることがその重要な理由の一つと考えられている。多くのパラメーターの値は摩擦冷却法という新しい強力なエネルギー変分の方法で決定する。このような波動関数の構成法に端的に現れているように、反対称化分子動力学の最も重要な特長の一つは、模型仮定を導入せずに核構造の研究を行うことの出来る理論形式であるということが出来る。反対称化分子動力学は安定核の領域で、殻模型構造やクラスター構造の典型的状態をどちらも的確に記述できることが既に検証されており、申請論文はその成果に基づいている。

申請論文は、軽い原子核の領域に於いて、安定核から不安定核までの広い核種の系統的な研究を行ったものであるが、その意図する所の一つは、単一の理論枠組みを用いて、安定核領域の原子核の既に良く分かっている性質を理論が再現することを確認した上で不安定核領域を研究することにより、理論解析に大きな信頼性を賦与することにある。対象とした核種は、Li, Be, B, Cのアイソトープであり、理論計算の結果はこれら全てのアイソトープに於いて中性子数の増加につれて核構造が大きく変化するというところで、例えばBeのアイソトープでは安定核領域の ^8Be は有名な $\alpha + \alpha$ 構造が確かに再現されるが、中性子数Nが魔法数 $N=8$ の ^{12}Be ではその構造は殻模型的で球形の形状を持つ。更に重要な結果は中性子数が $N=8$ を越えて大きく中性子過剰となると、二体クラスターの構造が再び成長するということである。中性子数の増加につれてこの様に大きな構造の変化を系統的に追跡することは反対称化分子動力学を用いて初めて可能となったことで、申請論文の研究の独創的で重要な成果である。

中性子数の増加につれての大きな構造の変化が実験データから強く支持されることを申請論文では綿密に論じていて、大きな説得力を持つ。まず第一に、核半径、結合エネルギー、励起スペクトル、磁気双極子能率、電気四重極能率、電気四重極遷移などの物理量につき理論値を実験データと比較した結果、少数の例外を除いて実験値の見事な再現が得られることが示された。特に磁気双極子能率、電気四重極能率の広い核種に亘っての系統的再現は申請論文の研究によって初めて得られたものであり、極めて大きい成果である。実験値の再現の悪い少数の例外というのは、 ^{11}Li , ^{11}Be といういわゆる中性子ハローを持った原子核の核半径などの物理量であり、その再現の悪い理由は明らかで、波動関数の改良の指針も明らかであることが論じられている。次に、申請論文では磁気双極子能率、電気四重極能率の広い核種に亘っての系統的再現の理由が中性子数の増加につれての大きな構造の変化に由来するものであることを詳細な分析に基づいて実証している。

Cのアイソトープでも中性子数の増加につれての大きな構造の変化が理論結果として得られるが、ここではクラスター構造はもはや現れず、原子核変形が葉巻型、球形、パンケーキ型と様々に変化する。しかも、陽子と中性子の変形がその符号（葉巻型かパンケーキ型か）まで含めて異なっている。この結果は安定核領域での常識から大きく逸脱している。

以上、申請論文は、Li, Be, B, Cのアイソトープについて安定核から不安定核までの広い核種の系統的な研究を行ったものであるが、多くの実験結果の見事な再現を示すと共に、その説得力ある理論予言は今後の理論研究はもとより実験研究を誘起することが十分に予想されるものであり、この分野の発展に大きく寄与したものである。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分な価値をもつものと認める。

なお、主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心とし、これに関連した研究分野について試問した結果、合格と認めた。