

氏名	土手昭伸
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2166号
学位授与の日付	平成12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	AMD+Hartree-Fock法による軽い不安定核の研究

論文調査委員 (主査) 教授 堀内 昶 助教授 松柳 研一 教授 九後 太一

### 論文内容の要旨

近年ベータ崩壊に対し不安定ないわゆる不安定核をビームとする実験技術が開発されて、これまでベータ崩壊に対し不安定ないわゆる安定核に殆ど限定されていた原子核物理が急速に不安定核領域へと拡大されている。不安定核の研究はまだ日が浅いにも拘らず驚くべき事実が次々と明らかになってきている。それは原子核物理の基本と見なされてきた色々な事柄が大きな変更を余儀なくされているのである。まず、密度の飽和性が破れることが明らかになった。中性子スキンや中性子ハローの形成がその代表的な現象として挙げられる。また、魔法数の消滅が多くの不安定核で見いだされている。不安定核ではこの様に従来の常識では予期されぬ現象が起こるので、核構造を研究する理論としては従来の核構造模型に捉らわれない理論を用いることが望まれる。この様な要請に応える理論として提案された理論の一つが反対称化分子動力学理論(AMD)である。AMD理論は不安定核研究に多くの成功を収めたが、この理論はそのままでは魔法数の様な平均場に関する問題の研究には必ずしも便利ではない。本論文の一つの重要な成果はAMD理論のこの不十分さを解消する為に、AMD理論をHartree-Fock理論と結合することにより、核構造研究の新しい理論であるAMD+Hartree-Fock理論を新たに構築したことである。その上で本論文ではこの理論を用いてヘリウムとベリリウムの不安定原子核の構造を研究して多くの新しい知見を得ることに成功したものである。

ベリリウムのアイソトープに関する本論文の研究はAMD+Hartree-Fock理論の特長が十分に発揮されて先進的研究成果を挙げている。このアイソトープにおいてはその構造は芯部分を構成する $\alpha$ - $\alpha$ クラスター構造とその周りを運動する中性子群からなるという基本的描像が確立しつつある。AMD理論はその描像が模型仮定無しに導かれることを示してきたのであるが、本論文は更に進んで $\alpha$ - $\alpha$ クラスター芯の周りの中性子群の作る平均場の構造を解析することによって、不安定核におけるクラスター構造の本質の解明に大きく貢献した。安定核においてはクラスター構造の基本因子はクラスター自体の安定性とクラスター間相互作用であるが、不安定核においてはそれらよりもむしろクラスター芯と中性子群がそれぞれの構造を相互の間の相互作用によって規定することが基本因子となるので、中性子群の作る平均場の構造の解析が重要となるのである。例えば、 $^{10}\text{Be}$ においては、最外殻の中性子二つが特徴的な励起軌道へと励起することにより発達したクラスター構造を持った正パリティ励起回転帯が形成されることを示し、それは実験結果とも良い対応を示している。また、特に重要なのは $^{11}\text{Be}$ の基底状態の研究成果である。この状態は中性子ハロー構造を持ち、そのパリティが殻模型の予言と逆転していることに示される様に魔法数 $N=8$ が破れている。本論文では魔法数の破れる機構として、ハロー構造に起因するもの、クラスター構造に起因する変形効果、有効核力の密度依存に起因するもの等を丁寧に解析し、これらの機構のみでは魔法数の破れを惹き起こすには十分でないことを示して、最後に対相関の果たす役割を定量的に詳しく調べて、対相関の効果が重要である事を明らかにした。この結果は魔法数 $N=8$ の破れの本質の解明にとって極めて重要である。

ヘリウムのアイソトープに関する本論文の研究は魔法数 $N=8$ の安定性の研究を中心にしたもので、何故魔法数 $N=8$ の $^{10}\text{He}$ が束縛されず $^8\text{He}$ が中性子ドリップ線を形成しているかの疑問に答えることを中心にしている。この研究は魔法数 $N=8$ の安定性に犬して2体のスピン軌道力の役割の大きい事を明らかにした。ヘリウム以外の不安定核の研究において許容

される2体のスピン軌道力の強さの範囲内において強い力を用いるならば $^{10}\text{He}$ ではスピン軌道力の寄与が殆ど無いのに対して $^8\text{He}$ ではその寄与が大きくて強く安定化されることを指摘した。また対相関の果たす役割についても調べて、 $^{11}\text{Be}$ 近傍とは異なって魔法数  $N=8$  を消滅させる程の大きな効果は持たない可能性が大きいと論じている。この研究はヘリウムのアイソトープに対する今後の研究展開にとっても重要な情報を提供するものである。

### 論文審査の結果の要旨

原子核物理学はこれまでベータ崩壊に対し安定ないわゆる安定核に殆ど限定されていたのであるが、近年ベータ崩壊に対し不安定な不安定核をビームとする実験技術が開発されて、原子核物理が急速に不安定核領域へと拡大されている。安定核の総数は300程度であるのに対して不安定核の個数は6,000を越えると予想されているのであるが、不安定核の研究はまだ日が浅いので全体の僅かな部分が調べられてきたに過ぎない。しかるに既に原子核物理の基本的概念が大きな変更を余儀なくされるような事実が次々と明らかになってきている。中性子スキンや中性子ハローの形成という現象は、密度の飽和性が破れることを明示しているのであり、また、魔法数の消滅が多くの不安定核で見いだされているのである。不安定核ではこの様に従来の常識では予期されぬ現象が起こるので、核構造を研究する理論としては従来の核構造模型に捉らわれない理論を用いることが望まれる。この様な要請に応える理論として提案された理論の一つが反対称化分子動力学理論 (AMD) であり、ANID理論は不安定核研究に多くの成功を収めたが、この理論はそのままでは魔法数の様な平均場に関する問題の研究には必ずしも便利ではない。本論文の一つの重要な成果はAMD理論のこの不十分さを解消する為に、AMD理論をHartree-Fock理論と結合することにより、核構造研究の新しい理論であるAMD+Hartree-Fock理論を新たに構築したことである。本論文ではその上でAMD+Hartree-Fock理論を用いてベリリウムとヘリウムの不安定原子核の構造を研究して、中性子スキンや中性子ハロー、魔法数の消滅、新しい種類のクラスター構造などについて、多くの新しい知見を得ることに成功したものである。

本論文のベリリウムのアイソトープに関する研究はAMD+Hartree-Fock理論の特長が十分に発揮されている。このアイソトープにおいてはその構造は芯部分を構成する $\alpha$ - $\alpha$ クラスター構造とその周りを運動する中性子群からなると言う基本的描像が確立して来ている。本論文は $\alpha$ - $\alpha$ クラスター芯の周りの中性子群の作る平均場の構造を解析することによって、不安定核におけるクラスター構造の本質の解明に大きく貢献した。不安定核においてはクラスター構造形成の基本因子は安定核とは異なってクラスター芯と中性子群がそれぞれの構造を相互の間の相互作用によって規定することであるので、中性子群の作る平均場の構造の解析が重要となるのである。例えば、 $^{10}\text{Be}$ においては、最外殻の中性子が特徴的な励起軌道へと励起することにより発達したクラスター構造を持った励起回転帯が形成されることを示し、それは実験結果とも良い対応を示している。また、特に重要なのは $^{11}\text{Be}$ の基底状態についての研究成果である。この状態は中性子ハロー構造を持ち、魔法数  $N=8$  が破れていることが知られている。本論文では魔法数の破れる機構として、ハロー構造に起因するもの、クラスター構造に起因する変形効果、有効核力の密度依存に起因するもの等を丁寧に解析し、これらの機構のみでは魔法数の破れを惹き起こすには十分でないことを示した上で、最後に対相関の果たす役割を定量的に詳しく調べて、対相関の効果が重要である事を明らかにした。この研究結果は魔法数  $N=8$  の破れの本質の解明にとって極めて重要な貢献をなすものである。

本論文のヘリウムのアイソトープに関する研究は、何故魔法数  $N=8$  の $^{10}\text{He}$ が束縛されず $^8\text{He}$ が中性子ドリップ線を形成しているかという魔法数  $N=8$  の安定性の研究を中心としている。この研究は魔法数  $N=8$  の安定性に対しては2体のスピン軌道力の役割の大きい事を明らかにした。2体のスピン軌道力の強さの許容される範囲内において強い力を用いるならば $^{10}\text{He}$ ではスピン軌道力の寄与が殆ど無いのに対して $^8\text{He}$ ではその寄与が大きくて強く安定化されることを指摘した。また対相関の果たす役割についても調べて、 $^{11}\text{Be}$ 近傍とは異なって魔法数  $N=8$  を消滅させる程の大きな効果は持たない可能性が大きいと論じている。これらの諸結果はヘリウムのアイソトープに対する今後の研究に対して重要な情報を提供するものといえる。

以上述べたように、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られる。なお主論文、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する研究分野について試問した結果、合格と判定した。