

氏名	加藤幾芳
学位の種類	理学博士
学位記番号	理博第524号
学位授与の日付	昭和53年5月23日
学位授与の要件	学位規則第5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	$^{16}\text{O}+2\alpha$ 模型による ^{24}Mg 核の研究

論文調査委員 (主査) 教授 玉垣良三 教授 小林農作 教授 武藤二郎

論文内容の要旨

軽い原子核に対するクラスター模型による研究は、 ^{20}Ne に至る領域で、軽い核がよく知られた殻構造の他に分子的構造を持つことを明らかにし、非常に多くの励起準位がクラスター模型によって統一的に説明されることを示した。

そこで、 ^{20}Ne をこえた領域でも分子的構造が普遍的に存在しているかどうかを明らかにすることは、重要な課題となってきている。また、従来専ら研究対象となった2体クラスター系からすすんで多体クラスター系の研究は、発達した多分子的構造の存在及び殻構造と分子的構造の間の構造変化機構を解明する上で重要となってきている。申請論文は、この課題を追求する目的で、 $^{16}\text{O}+2\alpha$ 模型による ^{24}Mg 核の構造の分析を行なったものである。

申請論文は三つの部分からなる。第一は、 $^{16}\text{O}+2\alpha$ 系の配位を変化させた変分的方法によるエネルギー計算による検討である。得られた結果の概要として、

- 1) ^{24}Mg の $^{16}\text{O}+2\alpha$ 構造に連がる core+ 2α 構造が、 ^{24}Mg より ^{20}Ne 励起状態に至る領域で、実験的に 2α 移行反応で強く励起される準位として系統的に存在し、 ^{24}Mg (基底状態) に至るにつれクラスターの成長度が弱まる傾向がある。
- 2) ^{24}Mg の基底状態のクラスター構造の安定性が調べられ、パウリ原理によるクラスター間3体力が引力的に作用するため、クラスターが殻模型の状態にくずれている。
- 3) ^{24}Mg の励起準位については、その多くが回転帯 (対称主軸方向への角運動量射影 K とパリティ π で指定) に分類されるが、 $K^\pi=0^-_1(7.55\text{MeV})$ 帯は $K^\pi=0^+_1$ (基底状態) と対をなす反転二重項模型によって励起エネルギー、慣性率がよく説明されると共に、低励起 (約10 MeV 以下) 回転帯のうち $K^\pi=3^-(7.62\text{MeV})$ 帯を除く全ての回転帯が再現される。

ことが示されている。

第二の部分では、多体クラスター系での Kernel の導出と状態分類が論じられている。 $^{16}\text{O}+2\alpha$ の系となると粒子数が多いのに加えて、3体クラスター系となるので、複雑な Kernel の計算方法の開発 (計算

時間を実行可能なレベルに短縮することも含めて)も重要な問題となっており、ここでは申請者が開発した“pre-diagonalization 法”が有効な方法であることが示される。この方法は、

- 1) Norm Kernel の直交座標表示での調和振動子波動関数の行列要素を生成座標法における Kernel の母関数展開を用いて求める。
- 2) 生成座標法での Norm Kernel は Slater 行列式の 4 乗となることから、4 乗する前の Kernel の行列要素を求め、その固有値問題を解く。そして零固有値をもつパウリ原理による禁止状態をこの段階で除去する、という手続きで行なうものである。

この方法で求められた Norm Kernel の固有状態によって $^{16}\text{O}+2\alpha$ 系の模型空間が分類される。その結果、 ^{24}Mg の低励起領域で重要な殻模型状態が $^{16}\text{O}+2\alpha$ 模型に含まれていることが示され、Norm Kernel の固有値、固有状態から ^{24}Mg を $^{20}\text{Ne}+\alpha$, $^{16}\text{O}+^8\text{Be}$ に分ける光学因子が求められる。これはクラスター移行反応のデータの分析において重要となる。

第三の部分は、 $^{16}\text{O}+2\alpha$ 系の直交条件模型による分析である。 ^{20}Ne に至る領域の 2 体、3 体クラスター系の分析で成功を収めてきた直交条件模型は、禁止状態を除去する直交条件とクラスター間の直接ポテンシャルを用いて、クラスター間の相対運動を解くものである。ここでは、Norm Kernel の零でない固有値をもつ固有状態空間で直交条件模型ハミルトニアンを解く。主要な結果として、

- 1) ^{24}Mg の低エネルギー回転帯のうち $K^\pi=3^-(7.62\text{MeV})$ 帯を除いて全ての回転帯 ($K^\pi=0^+_1, 2^+_1, 0^+_2, 0^-_1$) が再現され、約 10MeV 以下の準位が過不足なく実験データと対応する。
- 2) 励起エネルギーが約 13MeV である成長したクラスター構造の 0^+ 準位が見出された。
- 3) α -, ^8Be -光学因子が各準位について計算され、 α -光学因子は実験データと良い一致を示す。
- 4) 電気的四重極遷移確率が計算され、有効電荷($\delta e=0.5e$)を用いれば、 $2^+_2 \rightarrow 2^+_1$ に不一致が残される他は、非常によく実験データと一致する。

が得られた。

以上の分析から、 ^{24}Mg 核の低エネルギー領域の回転帯構造がクラスター模型によって説明されることが示された。これらの回転帯は、主要には殻構造を有しているが、クラスター相関が重要であることが $K^\pi=0^+_2, 0^-_1$ 帯の分析を通じて示された。さらに高い励起エネルギー(約 10MeV 以上)の領域において、クラスター構造が発達した状態が予想されることが具体的に示された。この領域のより詳細な分析は、今後の課題である。

参考論文 1 は、申請論文の第二の部分で述べられている申請者が開発した計算法を用いて ^{20}Ne と ^{24}Mg の α 粒子及び ^8Be 核の分光学的因子を求め、実験との対比を行ったものである。参考論文 2 は、申請論文の先駆をなす研究である。

論文審査の結果の要旨

申請論文が研究対象とした ^{24}Mg 核は、殻模型の立場からみると、二重閉殻 ^{16}O と ^{40}Ca の中間にあり、基底状態近傍は変形した一体場をもつ意味で興味のある原子核である。しかし、開殻 sd 殻軌道にある粒子数が多いので、計算規模が膨大となるため、研究は基底状態近傍の正パリティの状態に限られていた。

他方、クラスター模型の立場からみると、軽い原子核では殻構造と共に分子的構造（よく成長したクラスター構造）の存在が示され、基底状態近傍のみならず多くの励起状態を含めて統一的な説明がなされてきたが、研究は ^{20}Ne 核をこえた領域には及んでいなかった。

^{20}Ne 領域をこえてクラスターの構造が普遍的に存在するかどうかは重要な問題であり、これに対して申請者は ^{24}Mg 核をとりあげ、その構造を $^{16}\text{O}+2\alpha$ 模型で分析した。クラスター構造の最近の研究の重要な課題の一つは、多体の分子的構造の発現及び殻構造の間にわたる構造変化の機構の解明である。このような問題が解明されたのは、これまでのところ ^{12}C 核の 3α 構造に限られていた。従って、申請者が次に問題とすべき典型として3体クラスター系となる ^{24}Mg 核を選んだことは、適当な課題設定であった。しかし、 $^{16}\text{O}+2\alpha$ 系となると関与する粒子数が多いため、パウリ原理がクラスター相対状態にもたらす効果を正しく取扱うことが大変重要であるが、これは困難な問題と考えられていた。この方法上の問題を解決し、計算を実行可能にする点が、申請者が取り組んだ課題のもう一つの面であった。

申請論文は三つの部分より成っている。第一の部分では、変分的方法でのエネルギー計算によって、 ^{24}Mg に連がる状態系列が ^{20}Ne 励起状態にむけてクラスター構造が成長しつつ存在することを示し、 $K^\pi=0_1^-(7.55\text{MeV})$ 回転帯が $K^\pi=0_1^+$ （基底状態）回転帯と反転二重項をなすことから多体分子的構造の典型的発現を示した。第二の部分では、パウリ原理を正しく扱い、パウリ原理による禁止状態をはじめとする状態分類を行うため Norm Kernel の固有状態を求める独自の方法を開発し、このクラスター模型の枠内で重要な殻模型状態が含まれることを示している。第三の部分では、この状態分類をもとに、3体クラスター系の相対運動を直交条件模型で解き、準位の位置、 α 及び ^8Be の分光学的因子、電気的四重極能率を求め実験と比較した結果、 $K^\pi=3^-$ 回転帯を除く約 10 MeV までのすべての回転帯を過不足なく再現し、実験データの特徴とよい対応をえている。

要約すると、申請論文は、従来一体場を仮定して限られた状態を扱ってきた ^{24}Mg 核の構造を多体クラスター構造の視点から研究し、多くの励起状態を含めて包括的理解が可能であることをはじめて示したもので、原子核構造の研究の発展に寄与するところ大である。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。