

氏名	ふな き やす ろう 船 木 靖 郎
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2991 号
学位授与の日付	平成 18 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	Study of resonance states in $^{12}\text{C}$ using $\alpha$ -particle condensate wave function ( $\alpha$ 粒子凝縮波動関数を用いた $^{12}\text{C}$ の共鳴状態の研究)
論文調査委員	(主 査) 教授 堀 内 昶 教授 畑 浩 之 助教授 延 興 佳 子

### 論 文 内 容 の 要 旨

$^{12}\text{C}$  の  $3\alpha$  崩壊閾値近傍の正パリティの共鳴状態は、その低い励起エネルギーを殻模型で再現することは極めて困難な状態として有名であり、最近の最も進展した殻模型計算でも全く再現できない。エネルギーの最も低い共鳴状態はスピン・パリティが  $0^+$  の状態であるが、この状態は星の中での  $^{12}\text{C}$  元素の合成にとって決定的に重要であって Hoyle 状態と称されている。これらの共鳴状態は殻模型的構造（核子の平均場的構造）とは異質であり  $3\alpha$  のクラスター状態であると考えられ、昔から多くの研究が為されてきた。既に30年ほど前に、微視的な  $3\alpha$  のクラスター模型による精力的な計算が幾つか遂行されて、これらの共鳴状態並びに基底回転帯状態とに関する多くの実験データを見事に再現することが示された。これらの計算によれば、正パリティの共鳴状態の構造の主成分は、2つの  $\alpha$  クラスターが  $^8\text{Be}$  の基底状態 ( $0^+$ ) を作り、その周りを3番目の  $\alpha$  クラスターが S 波または D 波で分布しているものであった。その半径は極めて大きいことも注目された。殆ど全ての実験データが見事に再現されたために、それ以後4半世紀ほどにわたって、 $^{12}\text{C}$  の共鳴状態の理解はほぼ完成されたと思われて来た。ところが、5年ほど前に、 $^{12}\text{C}$  の Hoyle 状態について、30年前のクラスター模型計算の結果に対する新しい解釈の可能性が提案された。それは Hoyle 状態では3つの  $\alpha$  クラスターが同一の S 波軌道を占有してボーズ・アインシュタイン凝縮状態を作っていると言うものであった。この解釈が正しければそれは原子核にはガスの状態が  $^{12}\text{C}$  に限らずに一般に存在するという可能性を強く示唆するものであり、重要な提案であった。

本論文の内容は、 $^{12}\text{C}$  の Hoyle 状態が確かに  $3\alpha$  のボーズ凝縮状態であり、近傍の  $2^+$  の共鳴状態もボーズ凝縮状態の励起状態であることを高い説得力をもって示したものであり、極めて大きな成果が達成されている。申請者は Hoyle 状態と  $2^+$  共鳴状態の両方に対して30年ほど前に得られた微視的  $3\alpha$  模型波動関数が実はそれぞれほぼ単一の  $3\alpha$  ボーズ凝縮波動関数に等しいことを明らかにした。昔の微視的  $3\alpha$  模型では複雑に見えた波動関数が実は極めて単純明快な波動関数に他ならないことを示したわけで、そのことはこれらの共鳴状態の物理的内容が  $3\alpha$  のボーズ凝縮したガスの状態であることを単純明快に示している。申請者はこの結果を得る為に様々な分析方法の開発を行った。代表的なものとして、まず  $3\alpha$  の変形したボーズ凝縮波動関数の導入がある。これにより、球形のボーズ凝縮波動関数に比べて大きな模型空間の扱いが可能となり、またスピンがゼロでない状態の研究が可能となった。次に、束縛状態近似だけでは確定的な答えの得られない幅の大きい共鳴状態の取り扱いについて新しい理論を開発してそれを自在に用いたことが重要である。これは ACCC 法とよばれる共鳴状態記述法の大幅な改良とも言えるもので、ACCC 法では不可能であった共鳴状態波動関数の構築を可能とし、また数値計算の大幅単純化を達成したものである。共鳴状態の波動関数が得られたことは大変に重要で、共鳴状態の密度分布を始めとして様々な性質の具体的な解析が可能となり実行され、この研究の質を極めて高いものにした。本論文には、 $^{16}\text{O}$  の研究についても若干触れられていて、ボーズ凝縮状態の考えの一般的妥当性を強く示唆するものとなっている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文の審査は得られた結果の核構造研究における極めて高い革新性、結果の導出の緻密性、結果導出に用いられたさまざまな手法の独創性の高さ、などの観点から行われ、その審査結果の評価はいずれの点についても極めて高いものであった。

本論文の研究の結果、 $^{12}\text{C}$ の $3\alpha$ 崩壊閾値近傍の $0^+$ 共鳴状態（Hoyle状態）が $3\alpha$ のボーズ凝縮状態であり、近傍の $2^+$ の共鳴状態もボーズ凝縮状態の励起状態であることが高い説得力をもって示されていると言える。従ってこの研究成果は核構造研究にとって第一級の革新性を持っていると言える。原子核の基底状態近傍の構造は質量公式の液滴模型に代表されるように液体的であり、流体模型は原子核動力学の代表的模型の一つである。つまり、通常原子核は液体的な物質として理解されている。ところが本研究の結果は原子核にガスの構造の状態が実現していることを意味しているので、極めて重大な結果を得たこととなる。この結果の更なる検証の積み重ねや、ガスの状態の存在の一般性の研究など今後の核構造研究に与える影響は大変に大きいと見なすことが出来る。本論文には、 $^8\text{Be}$ の基底回転帯も $2\alpha$ のボーズ凝縮状態と見なしうるとの研究結果が述べられており、また $^{16}\text{O}$ の $4\alpha$ のボーズ凝縮状態の可能性についての肯定的な研究成果にも触れられている。これらの論述は本研究の持つ展望の大きさを示すのに適切である。

本研究では上記の主要結果を導出する過程として、30年ほど前に得られた微視的な $3\alpha$ クラスター模型の計算結果を尊重しそれと比較することを行った。その理由はこの昔の計算は実験データの殆ど全てを良く再現する優れた成果であったからである。比較の結果は、昔の微視的 $3\alpha$ 模型波動関数は実はそれぞれほぼ単一の $3\alpha$ ボーズ凝縮波動関数に等しいというものであった。昔の微視的 $3\alpha$ 模型波動関数はボーズ凝縮という考え方が存在しない時代に得られたものであるので、その波動関数がほぼ単一の $3\alpha$ ボーズ凝縮波動関数に等しいという結論はHoyle状態と近傍の $2^+$ の共鳴状態がボーズ凝縮したガスの状態であるとする結論の説得力を大いに高めている。

申請者はこれらの結果を得る為に様々な分析方法の開発を行った。その1つに変形したボーズ凝縮波動関数の導入がある。これにより、球形のボーズ凝縮波動関数に比べてより大きな模型空間の扱いが可能となり、スピンのゼロでない状態の研究が可能となった。次に、束縛状態近似だけでは確定的な答えの得られない幅の大きい共鳴状態の取り扱いについて新しい理論を開発してそれを自在に用いた。これはACCC法とよばれる共鳴状態記述法の大幅な改良とも言えるもので、ACCC法では不可能であった共鳴状態波動関数の構築が可能となり、また数値計算の大幅な単純化が達成された。共鳴状態の波動関数が得られたことは大変に重要で、共鳴状態の密度分布を始めとして様々な性質の具体的な解析が可能となり実行され、この研究の質を極めて高いものにした。

以上により、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た。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、合格と認められた。