

論文審査の結果の要旨

氏名 Liu Lang (刘朗)

本論文は6章からなり、その研究内容は、現実的核力に基づいた第一原理原子核構造計算を、Unitary Correlation Operator Method (UCOM) による二体核力と Monte Carlo Shell Model (MCSM) による多体波動関数の対角化により実現し、その収束性と計算結果を分析したものである。

第1章は、イントロダクションであり、核子-核子散乱を精密に記述する現実的核力の表現、原子核構造計算に適用するための問題点とその解決方法および殻模型による構造計算における巨大次元の対角化の取扱手法の進展が述べられ、これらを組み合わせた第一原理原子核構造計算の重要性と現状が示されている。第2章では、現実的核力を原子核構造に適用するため本研究で用いる UCOM の理論的枠組みが示されている。UCOM では、二体核力の斥力芯による短距離相関をユニタリー演算子として表現し、それを用いて殻模型計算に適用可能な二体相互作用に変換される。二体核力として、中心力とテンソル力が考慮され、具体的適用例として重陽子波動関数にあらわれる短距離相関と D 状態が例示されている。核子-核子散乱を記述する現実的核力を用いた UCOM 相互作用を定式化し以下の計算で用いられる。第3章では、殻模型計算で用いられる多粒子基底の対角化の次元を原子核の各状態にとって重要な基底を選び出すことにより小さくする MCSM の理論的枠組みと重心運動の spurious motion を除去するための処方箋が示されている。これらの3章で、本研究で用いられる手法の背景と内容、その位置づけが明確に示され、論文提出者が十分な科学的視点を持っていることが示されている。

第4章では、 ^4He 核の基底状態のエネルギーを、模型空間の大きさ(e_{max} : major shell の数)、UCOM 相互作用の種類(N^3LO , AV18)、調和振動子パラメータ($\hbar\omega$)の関数として計算し、その収束性が論じられている。まず、通常殻模型計算が行われ、いずれの相互作用でも $\hbar\omega \sim 30 \text{ MeV}$ で最小のエネルギーが得られ、 $e_{\text{max}}=5$ で 1 MeV 程度の水準の収束性が得られた。次に、MCSM 計算の収束性を MCSM 次元の関数として検討し、試行回数を 100 とすることで早い収束が得られることが示された。また、通常殻模型計算との一致が確かめられるとともに、spurious motion の除去パラメータ($\beta_{\text{c.m.}}$)に関する収束性も調べられている。いずれの計算結果もこれまでの第一原理計算と同水準である。

第5章では、 ${}^7\text{Li}$ 核の $3/2^-$ および $1/2^-$ 状態のエネルギーが計算されている。1つのパラメータセット(AV18 ポテンシャル、 $e_{\text{max}}=3$, $\hbar\omega=20$ MeV, $\beta_{\text{c.m.}}=10 \hbar\omega/A$) に対して MCSM 次元に関する収束性が調べられ、 ${}^7\text{Li}$ では 16 次元、 ${}^9\text{Li}$ では 30 次元で、100keV 程度の水準の収束性が得られた。計算の収束性、パラメータセットに関する検討は必ずしも十分ではないが、いずれの計算も $3/2^-$ が基底状態となっており、2 体核力のみを考慮したこれまでの第一原理計算では出せていない実験と一致する基底状態のスピンの得られたことは特筆に値する。

第6章では、第一原理計算のテストとしてよく用いられる ${}^{10}\text{Be}$ および ${}^{12}\text{Be}$ の計算が、主に、 N^3LO ポテンシャルで $e_{\text{max}}=3$, $\hbar\omega=16$ MeV, $\beta_{\text{c.m.}}=10 \hbar\omega/A$ でなされている。MCSM 次元に対する収束性が調べられ、エネルギーの収束性は十分ではないが、基底状態を 0 としたエネルギースペクトルについては、数 10keV の水準の収束性が得られた。 ${}^{10}\text{Be}$ の 2 つの 2^+ 状態の四重極モーメントもよい収束性が得られ、その符号が異なること、それが中性子の配位の違いに起因することが明確に示されている。これら 2 つの状態の励起エネルギーおよび基底状態から第一 2^+ 状態への遷移確率は実験とよく一致してことは特筆される。*Spurious motion* の影響を最もうけると考えられる 1^- 状態については少なくとも $\beta_{\text{c.m.}}=20 \hbar\omega/A$ 以上をとる必要があることが示された。 ${}^{12}\text{Be}$ に関しては sd 殻の配位が大きいことが計算で得られ、これは $e_{\text{max}}=3$ では模型空間が小さすぎることを示しているとともに、実験的に示されている $N=8$ の魔法数の破れと定性的に一致しているもの考えられる。

第7章では上記の結果がまとめられ、より大きな模型空間での計算への期待が述べられている。

以上のように本研究は、UCOM+MCSM を用いた初めての第一原理計算であり、より重い原子核の構造計算への適用可能性と問題点を示した先駆的研究と位置づけられ、原子核構造研究分野の進展に貢献するものである。

なお、本論文は共同研究であるが、論文提出者が主体となって計算および計算結果の分析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、博士（理学）の学位を授与できると認める