

論文審査の結果の要旨

氏名 月山幸志郎

本論文は7章から成り、第1章では、緒言と研究の背景が述べられている。第2章では、本論文で用いられる理論形式の基礎となる相似繰り込み群の物理的・数学的背景が詳述されている。特に、この章では、ハミルトニアンを連続的に対角型に変換する上での、さまざまな変換法が議論され、少数核子系での数値計算に基づいて、それらの比較や収束性が議論されている。

第3章から第6章は、本論文の核心部分となっている。第3章では、相似繰り込み群に基づく原子核多体系の新しい第一原理法が提案されている。まず、これまで自由空間でのみ定義されて来た相似繰り込み群に対して、多体系媒質中での相似繰り込み群が定式化されている。つぎにフェルミ面まで核子が占有された参照状態に対して演算子の正規順序積をとり、その係数に関する相似繰り込み群方程式を解くことで、多体計算で現れる多体相互作用を2体までの相互作用として良い近似で記述できることが示されている。媒質中での相似繰り込み群は非摂動的な理論であり、閉殻原子核の基底エネルギーからバレンス核子間の有効相互作用の導出に至るまで、幅広い適用性を持つことが示されている。

第4章では、媒質中での相似繰り込み群の摂動的解析を行うことで、従来の多体摂動論に現れるダイアグラムが厳密に含まれることが示されている。この際、1体及び2体の相互作用項においてフェルミオンの伝播関数の発散が一般に避けられることが証明されている。これは、模型空間で定義される有効相互作用を導出するために典型的に用いられるQ-ボックス展開法において、模型空間が縮退していない場合には発散が起こる問題を回避しうることを意味し、媒質中での相似繰り込み群がQ-ボックス展開に対して強力な代替手段となり得る事を意味している。

第5章では、2重閉殻原子核の記述と有効相互作用の導出が数値計算を用いて行われている。2重閉殻原子核に関して、 ${}^4\text{He}$ 、 ${}^{16}\text{O}$ および ${}^{40}\text{Ca}$ の基底状態のエネルギーの計算精度が、別の厳密計算手法であるカップルドクラスター理論と同等であることが示されている。また、媒質中での相似繰り込み群がハミルトニアン以外に任意の演算子を変換できる

例として、原子核半径の計算が行われている。さらに、原子核が有限孤立系であること、多体問題が有限に切断されたヒルベルト空間で解かれていること、に起因する非物理的な重心運動の励起状態の混在の問題が、媒質中での相似繰り込み群法では十分に小さいことが確認されている。また、p 殻の有効相互作用を導出し ${}^6\text{Li}$ の励起スペクトルに適用することで、媒質中での相似繰り込み群の有効性の裏付けが行われている。

第6章では、第一原理計算でも依然として到達困難な領域であるドリップ線近傍の弱束縛原子核における、連続状態との結合の重要性が議論されている。特に、多体相関と連続状態が互いに寄与するドリップ線近傍の酸素同位体に対して、連続状態の効果に焦点を当て、ガモフ殻模型に基づいてその重要性が議論されている。

本論文では、フェルミ粒子量子多体系を扱う新しい手法として、媒質中での相似繰り込み群法が提唱され、その摂動的構造が明らかにされている。さらに、この方法に基づく非摂動的計算を軽い原子核や閉殻原子核について実行し、その有効性が実証されている。これらの成果は、原子核構造を扱う系統的手法の新しい端緒を開くものとして大きな意義を持つ。

なお、本論文の主要部である第3章から第6章の内容は、G. Hagen, M. Hjorth-Jensen, S. K. Bogner, A. Schwenk との共同研究であるが、論文提出者が主体となって理論的解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上の観点から、申請者に博士（理学）の学位を授与できると認める。