

論文審査の結果の要旨

氏名 阿部 大介

本論文は5章からなる。第1章はイントロダクションであり、原子核の平均場理論、Skyrme力やGogny力を用いたHartree-Fock-Bogoliubov (HFB) 計算のそれぞれの違いや特性についてごく簡潔に述べられている。第2章は論文提出者が論文の中で実行している、粒子数射影を施したHFB計算についての理論的方法論についてかなり細かくレビューされている。原子核には種々のモデルが存在するが、軽い原子核から重い原子核に至るまでを統一かつ微視的に記述するためには、今のところ平均場理論を用いるのがほとんど唯一の方法であり、HFBはその有力な手法である。ここでは、HFBにおける核子の一粒子状態の作成、準粒子への変換、self consistentな解法、粒子数射影など、HFB計算に必要な枠組みが丁寧に解説されている。第3章は、このようなHFB計算に用いる核子間有効相互作用の比較と新しい相互作用の提案である。原子核のHFB計算において最もスタンダードな相互作用はSkyrme力など δ 関数的なものであり、これを用いることで原子核のエネルギーを密度汎関数として表すことが可能となる。しかしながら δ 関数はゼロレンジであり、相互作用する核子をもつスピンやアイソスピンの組み合わせに制限がついてしまう。そのため、最近理論・実験共に大いなる進展をみせつつある中性子過剰核の構造分析においては、有限のレンジを持った、ガウス型などの相互作用を用いることが望まれる。ガウス型の相互作用として一般的なものにGogny力が存在しているが、Skyrme力やGogny力においては、原子核において極めて強いとされている原子核のテンソル相関(Tensor力)が、通常を中心力の中に繰りこまれている。東京大学の原子核理論グループでは、このテンソル部分をあらわに取り扱ったGogny力の提案をここ数年試みてきたが、今回の論文でGT3という相互作用のパラメータを新たに提案し、それを広い原子核領域へと適用している。GT3はさらにaからdまでの4つのパラメータセットに細分化されるが、bからdにおいては核力のスピン・軌道部分(spin-orbit力)を中心力同様に有限レンジへと拡張し、cとdにおいてはさらにそのアイソスピン依存性について提案を行っている。この点が理論として本論文の最もオリジナルな点である。新しい有効相互作用の作成は大変な作業であり、それを構築し妥当な結果を得るに至った論文提出者の功績を審査委員全員が評価した。

第4章が新しく提案した相互作用の原子核系への適用である(核物質に対する適用は前の章で行われている)。ここではO, Ca, Ni, Sn, Pbの同位体を取り上げ、物理量としては結合エネルギー、ペアリングギャップ、核半径、一粒子エネルギーなどを系統的に計算し、分析を試みている。特に、CaやPb同位体の結果の中性子数の依存性は、これまでの平均場理論で用いられる相互作用と比較して有意な進展がみられる。また、論文申請者の提案したパラメータセットの中でも、スピン・軌道力を有限レンジにした場合が最も実験との合いが良く、中性子過剰核を研究する上で相互作用のスピン・アイソスピン依存性の適切な取り扱いが重要であることを示している。この章の物理的議論は指導教官である大塚教授との共同研究に負う部分が大きいと考えられるが、計算コードの作成から結果の分析に至るまで、論文提出者の果たした役割は十分に大きいと評価し得る。同様のことは論文目録中に書かれたものについても言える。

第5章がまとめと結論である。これまで行ってきた結果のまとめと共に、論文提出者の考察が述べられている。そこで重要なのが、相互作用の密度依存性についてである。原子核系は結合エネルギーの飽和性という特徴的振る舞いを示し、核子密度の $1/3$ 乗に比例した有効斥力が実験を良く再現することが知られている。しかしながら、近年の粒子数射影を行ったHFB計算においては、密度の分数べきに比例した有効核力がしばしば破たんをきたすことが指摘されつつある。論文提出者らはこの問題を解決すべく、核力の密度依存性を密度の整数べきで展開する試みを行ってきた。その研究は本論文以降へと引き継がれていくこととなるが、同時に球形に近い原子核においては、密度の分数べきの相互作用もそれほど深刻な問題を引き起こさないことを結論している。この論文は研究は共同研究に基づいているが、本人の寄与が十分あり、博士号を授与するのに十分な内容であると審査員一致で判定した。