

論文審査の結果の要旨

氏名：広瀬 俊亮

本論文は英文で8章 (chapter) と補章 (appendix) から構成されている。第1章は序論で、この研究の背景と問題の設定、それに対するこの論文の基本的方法の説明、そして論文の構成と残りの各章の簡単な要約が述べられている。第2章はこの論文で用いられる核構造を記述する相対論的平均場 (RMF) 模型についての概略が、第3章では、現実的核力から計算されたG行列と中間子交換力との比較によってこの論文で用いられる中間子交換相互作用のパラメータの決定する手順が詳しく述べられている。第4章では、相対論的平均場近似によるエネルギー密度と非対称エネルギーの解析的表式が書かれ、第5章において、中間子交換相互作用でとり込められていない近距離での相互作用の効果を考慮する為に、核子場の接触相互作用を導入する方法を提案している。第6章は、核物質にたいする数値計算結果が詳細に述べられ、第7章では、この研究で得られた中性子過剰高密度核物質の状態方程式をつかって中性子星の質量分布と上限質量が計算されている。第8章は終章で論文のまとめにあてられ、補章では、有限核で対相関を取り込めるように平均場近似を拡張した相対論的ハートレー・フォック・ボゴリューポフ (HFB) 方程式が導出されている。

この論文において筆者は、近年、重イオン衝突実験で研究が活発に行われている中性子過剰不安定領域核の記述に、核構造の記述で一定の成功を修めた相対論的平均場 (RMF) 模型を適用することを目指して、模型の改良とそのパラメーターの新しい決定方法を提案している。この論文では、この模型を使って核物質の状態方程式の計算を行い、それを用いて静流体平衡にある中性子星の質量分布と上限質量の計算を行ってこの模型の有効性を示している。

従来の核多体論では、核子の2体散乱と2核子束縛状態 (重陽子) を再現する現実的核力ポテンシャルをもちいて核内有効相互作用 (G行列) を計算し、それを用いて有限核の性質を計算するというのが正攻法であった。一方、相対論的平均場 (RMF) 模型では、2体のポテンシャルという非共変的概念を捨てて、核子中間子相互作用を場の理論を用いて記述し、中間子場を古典場として扱う平均場近似のもとで、その中での核子の運動をディラック方程式によって記述する。中性 (アイソスカラー) のスカラーとベクトル型の中間子場を用いた最も簡単なワレチカの模型では、核子場との湯川型結合定数を調整すると核物質のエネルギーと密度の飽和性と殻模型のLS力をうまく出せる。ただ、この模型を中性子過剰核に用いると過剰に結合してしまうという問題や、高密度中性子物質の状態方程式が硬くなり中性子星の上限質量が実際に見つかっている中性子星の質量よりかなり大きくなってしまおうという困難があった。

この論文では、この困難を解決する相対論的平均場モデルの改良を、アイソベクトル型の δ 中間子場、 π 中間子場、 ρ 中間子場を加えて、核子場との擬ベクトル型とテンソル型の結合を含む相互作用を導入して行っている。その際、単純な平均場近似では π 中間子場の寄与は残らないので、フォック項に対応する2ループのダイアグラムからの寄与も計算している。また、現実的核力ポテンシャルを使って計算したG行列の長距離成分とこの模型で計算した1中間子交換力をすり合わせるという方法で結合定数を決め、それで調整されていない短距離相互作用の部分は核子場の4体フェルミ型の接触相互作用の導入によって記述するという方法をとっている。その際、パラメータの数を制限するためカイラル摂動法の真空偏極によるループ補正の計算と同じように対称性の制約をつかってパラメータの数を制限するという手法が用いられている。

著者はこの模型を用いて核物質の飽和エネルギーや非圧縮率、非対称エネルギー等の計算を行い、実験値に近い値を出している。また、中性子物質の状態方程式を計算して、それを用いて中性子星の静流体平衡に対するオープンハイマー・ボルコフ方程式を数値積分し中性子星の質量分布を決め、その重力崩壊に対する安定条件より中性子星の上限質量を求めている。その結果は太陽質量の1.59倍となっており、従来の相対論的平均場模型で得た結果が2倍以上であったのに対して、現在知られている中性子星の質量の上限に近くなっており、この点からも相対論的平均場模型の有効理論として適用範囲を広げ、不安定核を含む核構造への本格的な応用に道を開いたものとして大いに評価できる。

この論文の一部は指導教官である大塚教授等との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。