

論文内容の要旨

論文題目 Relativistic mean field model based on realistic nuclear forces (現実的核力に基いた相対論的平均場模型)

氏名 広瀬 俊亮

本研究に於いて、我々は One Meson Exchange(OME) 相互作用項と接触型相互作用項とから成る密度依存の相対論的平均場 (RMF) 模型を構築した。ここで構築した模型を用いて核物質に関する量を幾つか計算し、我々が構築した模型が中性子過剰な領域や高密度領域へも適用可能であることを示した。

相対論的に原子核を記述する際、量子色力学 (QCD) が強い相互作用の基本的な理論になっている。しかし、低エネルギーでは QCD の非摂動的な効果が強く、QCD を用いて核構造を直接記述するのは数学的に困難になる。そこで、相対論的に原子核を取り扱うための現象論的有效理論として、RMF 模型が提唱された。RMF 模型では核子と中間子を基本的な自由度として扱い、核子が中間子のみを通じて相互作用するとする。結合定数と中間子の質量は、幾つかの原子核の性質を再現するようにフィットして決める。

数値計算の際の困難を避けるため、OMEのみを考える (ループダイアグラムを考えない)。その為、各スピン・アイソスピンのチャンネル毎に一つの間接子が必要になる。また、ループの効果を繰り込んだものとして考えて OME を扱うので各中間子の質量と結合定数は必ずしも生の値とは一致しない。

RMF 模型には、(1) ローレンツ不変性等の不変性を持つので、非相対論的な場合に比べてパラメータの数が少ない。(2) 仮定なしで LS 力を再現できる。(3) 引力・斥力ポテンシャルとの釣合により過結合による破綻を免れるという機構が理論に含まれる。等といった非相対論的に原子核を扱う方法にはない利点がある。

一方、RMF 模型には不安定核領域での計算で核の束縛エネルギーが実際の値よりも大きく出てしまうこと、中性子物質に於いて高密度で斥力が効き過ぎる (状態方程式が硬過ぎる)

という問題などもあり、現時点でよく使われているラグランジアン密度が核力の性質を (特に中性子過剰な領域において) 適切に再現する妥当なものかどうかについては議論の余地がある。

そこで、我々は主に以下の三点の様な方法を用いて、(特にアイソスピン依存性及び密度依存性が) 改良された RMF 模型の構築を試した。(1) δ 中間子、 π 中間子の微分結合と ρ 中間子のテンソル結合を OME 相互作用の中に含める。(2) 特定の安定核との比較ではなく、現実的な核力との比較からパラメータを決める。(3) OME には繰り込み切れない効果が有ると考え、接触型相互作用を模型に含める。

この模型の OME 相互作用は、G 行列ポテンシャルと非相対論近似から導いた OME ポテンシャルとの比較から決めた。非相対論的な生の核力から G 行列計算をして得られる媒質中の有効相互作用は密度に依存する。この密度依存の相互作用の中距離、長距離の部分は密度依存の OME 相互作用によって良く再現できる。

G 行列との比較に於いては短距離の部分は考慮に入れていない。ここで考慮に入っていない短距離部分の補正 (OME 相互作用には繰り込み切れない効果) を取り込むために、接触型相互作用を模型に導入した。カイラル摂動理論を用いて計算された核物質のエネルギーのうち発散を含む部分のみに注目し、核物質のエネルギーを計算した際にこの部分と解析的な形が一致するようという条件を課して接触型相互作用の形を決めた。

上記の模型を用いて、Fock も入れて核物質のエネルギーを計算した。その結果、isospin-symmetric な核物質、中性子物質、非対称エネルギーについて経験的な値と良く一致する値が得られた。つまりこの模型は、中性子過剰かつ高密度な領域で斥力が効き過ぎる (状態方程式が硬く成り過ぎる) という従来の RMF 模型が共通して持つ問題を解決する模型だと言える。

中性子過剰な領域に加えて高密度領域に対してもこの模型が適用可能かどうかを見る為に、中性子星に対する計算を行った。中性子星の最大質量とその時の半径を計算した。核物質の計算の場合と同様にこの模型から導かれる状態方程式は従来の RMF 模型のものよりも軟らかい。その結果として他の RMF 模型の値よりも小さな最大質量が得られたが、より観測値に近い値に成っており、この模型は中性子星のような高密度領域に対しても適用可能だと言える。