

Hypernuclear States and Hadronic Star Matter in an RMF Model with Chiral SU(3) Logarithmic Potential

(ハイペロンを含む有限、無限系へのカイラル対称な RMF 模型の適用)

学位論文内容の要旨

高バリオン密度状態方程式を解析する上で、陽子、中性子のフェルミ運動量が上昇する過程で自然に現れるハイペロンの自由度を考慮することは非常に重要である。また、高密度状態において、系の持つ対称性としてカイラル対称性とその破れについて考えることは模型に対する拘束条件を与える。

ハイペロンが現れる過程で系の持つエネルギーは低くなる方に動き、その効果は中性子星の最大質量などの観測量を再現する上で大きくなる。ハイペロンが生じる割合はハイペロンの核中におけるポテンシャルの性質に強く依存し、その決め方はハイペロンが核中に束縛されるハイパー核、つまり有限核の実験データを再現する以外に定量的に満足できるものはない。なぜならハイペロン自体が弱崩壊に対して不安定で、直接ハイペロンと核子、ハイペロン間の相互作用を見積もることが非常に難しいからである。よってカイラル対称性を持つハドロン模型により陽子、中性子からなる通常の原子核、及び核物質の性質を理解するのみならず、ハイパー核や、ハドロン物質を理解することは原子核物理において大きな課題である。

我々は強結合近似格子QCD計算から導かれたカイラル対称なスカラー中間子の有効ポテンシャルを持つRMF模型を提案し、今までのカイラル対称性を取り入れたRMF模型の持つ問題点を解決することを発見した。また、この模型が飽和密度近辺の核物質や通常有限核の性質を良く再現することを示した。

本論文ではハイパー核や、ハドロン物質へと我々の模型を適用した際の結果について議論する。実際に適用したところ、 Λ 、 Σ ハイペロンの実験データを良く再現できた。中間子の質量を与えて決めた有効ポテンシャルは σ と結合を持つため、状態方程式が既存のRMF模型より軟らかくなった。このRMF模型を用いて中性子星の最大質量を計算したところ、観測結果から知られる $1.44M_{\text{Solar}}$ を下回る結果となった。現象論的なRMF 模型ではハイペロンの自由度を考慮しても支えられる質量であるため、この結果は我々のRMF模型が高密度状態で状態方程式が軟らかすぎる事に由来すると考えられる。

一方、原子核の飽和密度付近でベクトル中間子の質量減少が実験結果から示唆されており、これはカイラル対称性の部分的回復から起こっていると考えられる。ただし、実験デ

ータはベクトル中間子の質量の全てをカイラル凝縮から生じさせた計算に比べ、小さい値を示している。以上を踏まえて、我々は σ 中間子と ω 中間子間の結合の自由度を部分的に導入したカイラルRMF 模型を提案し、カイラル対称性の部分的回復と質量減少が中性子星物質の性質にどのような影響を与えるか調べた。結果的に実験データを再現するように求められたパラメータを用いて計算すると、より中性子星の最大質量を過小評価する結果になった。ただし、この点に関しては模型中に含まれる別の有効ポテンシャルの部分が大きく変化していることが原因と考えられ、このポテンシャルに関して更なる改良が求められるという知見を得ることが出来た。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 加 藤 幾 芳

副 査 教 授 河 本 昇

副 査 教 授 藤 本 正 行

副 査 教 授 岡 部 成 玄

副 査 教 授 大 西 明 (京都大学基礎物理学

研究所)

学 位 論 文 題 名

Hypernuclear States and Hadronic Star Matter in an RMF Model with Chiral SU(3) Logarithmic Potential

(ハイペロンを含む有限、無限系へのカイラル対称な RMF 模型の適用)

対称性の自発的破れの理解は現代物理学全体の基本的課題である。特に我々の宇宙における最後の真空相転移である QCD 相転移はカイラル対称性の自発的破れを伴ったものである。原子核中ではカイラル対称性の部分的回復により核子の束縛が実現されていると考えられており、カイラル対称性をもつ原子核多体理論の構築は宇宙物理・素粒子物理・物性物理等の広い分野と関連する重要な課題である。

本論文において申請者は、カイラル対称性をもつ原子核多体理論であるカイラル対称相対論的平均場理論を開発し、さらに高密度物質で大きな役割を果たすハイペロンを含むように理論の拡張を行った。カイラル対称性をもつハドロン模型である線形シグマ模型を原子核多体論に単純に適用すると原子核密度以下で対称性が回復してしまうというカイラル崩壊問題が古くから知られているが、本論文では強結合格子 QCD から導いた対数型のポテンシャルを用いることによりこの問題を解決した。次にストレンジクォークを含むカイラル SU(3) 相対論的平均場理論 (Chiral SU(3) RMF) へと理論の枠組みを拡張し、通常の原子核とともにストレンジネス量子数をもつバリオン (ハイペロン) を含む原子核 (ハイパー核)、および核物質の性質が統一的に説明できることを示した。さらに中性子星のコア領域などで実現されている高密度物質の性質の分析を行い、本論文で提案した有限の原子核と対称核物質の性質を説明する Chiral SU(3) RMF では観測されている中性子星の質量を支えられないこと、またベクトル中間子の質量変化を取り入れてもこの問題の解決には至らないことを示した。ここで提案されている模型は、質量・半径などの原子核・ハイパー核の基本的性質を十分によく説明できるカイラル対称な原子核多体模型としては初めてのものであり、高密度領域での問題はさらなる斥力の必要性を指摘したものである。

これを要するに、著者は SU(3) カイラル対称性をもち、現象論的にも遜色のない原子核多体理

論を開発し、その有用性を示すとともに高密度領域での問題を提起することにより、原子核・ハドロン物理学についての理解を深めたものであり、分野の研究に対して貢献するところ大なるものである。

よって著者は、北海道大学博士(理学)の学位を授与される資格があるものと認める。