

論文審査の結果の要旨

氏名 益 田 晃 太

本論文は、6章と補遺 A-F からなり、第4章と第5章が中核部分である。

第1章は、全体のイントロダクションであり、研究の背景として、量子色力学 (QCD) の基本的性質、有限温度・有限密度における QCD の相構造、中性子星に関する基本的観測結果、Einstein 重力に基づいて球対象な中性子星を記述する Tolman-Oppenheimer-Volkov (TOV) 方程式、中性子星の研究において未解明な問題が説明された後、本論文の目的が提示されている。本論文の主な目的は、クォーク物質をコアに持つハイブリッド星が2倍の太陽質量を持つ中性子星の観測と矛盾しないかどうかを明らかにすることである。

第2章は、ハドロン相における状態方程式、ハドロン状態方程式、の導出にあてられている。バリオンの二体力としては、核子-核子チャンネルでは、代表的な Reid soft core、Paris、Argonne V18 の各ポテンシャルが、ハイペロン-核子、ハイペロン-ハイペロンチャンネルでは、Nijmegen 一中間子交換ポテンシャルが採用されている。また、原子核の飽和性を再現するためには、バリオンの三体力が必要であり、TN1 と TBF と呼ばれる三体力が採用されている。多体問題の解法として、変分法、G 行列、相対論的平均場近似の方法を用いて状態方程式を求め、得られた状態方程式を用いて TOV 方程式を解くことによって、中性子星の質量と半径が決定される。ハイペロン混合によって中性子星の最大質量が大幅に減少し、2倍の太陽質量を持つ中性子星を支えることができないことが指摘されている。

第3章は、クォーク相における状態方程式、クォーク状態方程式、の導出にあてられている。クォーク-反クォーク相関、2-flavor superconducting (2SC) 相と color flavor locked (CFL) 相を含むクォーク-クォーク相関、カイラルアノマリーの説明の後、QCD の有効理論として $2 + 1$ フレーバーの Nambu-Jona-Lasinio (NJL) 模型が導入され、クォーク相における状態方程式が構成されている。ある程度強いクォーク-クォーク結合を仮定すると中性子星内部に相当する密度で 2SC 相が現れることが示されている。

第4章では、クロスオーバー描像に基づいて、冷たい中性子星が議論されている。零温度において、系の圧力またはエネルギー密度が、低密度ではハドロン状態方程式、高密度ではクォーク状態方程式から得られる圧力またはエネルギー密度と一致し、有限密度では、それらを滑らかな関数によって内挿して得られると仮定する。得られた状態方程式を用いて TOV 方程式を解くことにより、中性子星の大まかな性質が決定される。一次相転移の場合には状態方程式が柔らかくなるのに対して、クロスオーバーの場合には状態方程式が太陽質量の2倍の中性子星を支えることができる程十分に硬くなることが示されている。

第5章では、クロスオーバー描像に基づいて、熱い中性子星が議論されている。零温度の場合と同様に、有限温度において、ハドロン状態方程式とクォーク状態方程式を滑らかな関数によって内挿して得られる状態方程式を用いて、誕生初期の熱い中性子星の性質が調べられている。ハドロン状態方程式に比べて、クロスオーバー描像に基づく状態方程式は、熱い中性子星内部の温度をより冷却するという重要な役割を果たすことが指摘されている。

第6章は論文の内容のまとめと議論にあてられている。

補遺 A-F は、それぞれ、中性子超流動体の磁氣的性質、Tolman-Oppenheimer-Volkov (TOV) 方程式の導出、Fierz 変換、Bogoliubov-Valatin approach、熱力学ポテンシャルの計算、有限温度におけるクロスオーバーにあてられている。

本論文では、低密度でのハドロン相から高密度でのクォーク相への滑らかなクロスオーバー描像に基づく新しい状態方程式を提案し、新しい状態方程式は2倍の太陽質量を持つ中性子星も支えることができることを初めて示し、また中性子星内部の冷却に関しても興味深い結果を与えたものであり、その意義を認める。

なお、本論文第3、4、5章は、初田哲男、高塚龍之との、補遺 A は新田宗土との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。