学位申請論文公開講演会

日時：2025年01月31日 16:00~

申請者：GAO Bikai(H 研)

場所：ES635

題目：Study of nuclear matter and neutron star matter based on the parity doublet model
(パリティ二重項モデルに基づく核物質および中性子星物質の研究)

主論文の要旨

ハドロン質量起源の候補には、右巻きと左巻きのクォークを独立に変換させるカイラル対称性の自発的破れを引き起こすクォーク凝縮由来の質量と、主にグルーオン凝縮により生成される「カイラル不変質量」がある。これらの核子質量に占める割合、及び、別の起源の有無は未解明である。また、超高密度状態ではクォーク 2 個が凝縮を生じるカラー超伝導(CSC)相が実現することが期待されているが、低密度でのカイラル対称性が自発的に破れたハドロン相と超高密度での CSC 相との間の相構造は未解明である。

本研究では、クォーク・ハドロン有効理論を用いて高密度状態での状態方程式を構成することにより、カイラル不変質量と相構造がどのように中性子星内部の状態方程式に影響するかを解析した。まず、ハドロン有効理論であるパリティ 2 重項モデル (PDM) に U(1)軸性対称性に対する量子異常の効果を取り入れた解析を実施した。先行研究では、低密度領域では PDM を用い、高密度領域では南部-ヨナ-ラシニオ型クォークモデル (NJL 模型) を用いて状態方程式を構成し、2つの状態方程式を内装することにより統一状態方程式を構成する手法に基づく解析が行われていた。この際、NJL 模型には U(1)軸性量子異常効果が含まれていたが、PDM には含まれていなかった。本研究では、PDM にその効果を加えた解析を実施し、この効果が状態方程式を若干柔らかく、すなわち、圧力を小さくし、その結果、中性子星の半径が少し小さくなることを示した。

次に、構成した統一モデルを用いて、質量・半径が通常の中性子星に比べて極端に小さい天体が、中性子星として解釈可能であるかを解析した。その結果、カイラル不変質量が核子質量の大部分を占める場合には、中性子星として解釈可能であることを示した。また、ハドロン相からクォーク相への相転移が一次転移となる場合の状態方程式への影響を解析した。カイラル不変質量と相転移密度には正の相関があることを示した。

さらに、低密度状態を PDM で記述されるハドロン物質、高密度状態をクォーキオニック物質描像に基づいて記述する新しい有効モデルを提案した。クォーキオニック物質描像は、高密度状態でのハドロン物質内部に閉じ込められたクォークが、ハドロン物質内では自由粒子として振る舞うとする描像である。本研究では、先行研究では取り入れられていなかった、クォーキオニック物質でのクォーク質量の密度依存性を取り入れた解析を実施した。その結果、対称核物質においては、密度依存性を持たない場合に比べて状態方程式が固くなる、すなわち、圧力が大きくなることを示した。