

論文内容の要旨

氏名 (岩中 章紘)

論文題名

QCD Matter in a Holographic Model

論文内容の要旨

量子色力学 (QCD) の有限密度領域の性質, 特に低密度のハドロン相と超高密度のカラー超伝導相の中間的な密度で物質が呈する様相はほとんど未解明である. その原因に強結合性と符号問題が挙げられる. 前者のために摂動的QCDが, 後者のために格子QCD計算による数値シミュレーションがそれぞれ適用できない. こうした困難から, ハドロン有効模型によるアプローチが有限密度QCD研究の有用な手段となっている.

本論文ではハドロン有効模型の一種であるホログラフィックQCD模型を用いて有限密度QCDを研究した. ホログラフィックQCD模型は4次元のQCDを5次元の重力理論として記述するハドロン有効模型である. この模型は有限密度状態を扱え, 強結合性を反映した計算が可能である. またカラーの閉じ込め/非閉じ込め転移とカイラル相転移の両方を含む. さらにメソンとバリオンを5次元の場として統一的に記述する. こうした特徴からホログラフィックQCD模型は有限密度QCD研究に適している.

本論文では代表的なホログラフィックQCD模型であるhard-wall模型を用いてゼロ温度・有限密度のQCD調べる方法を新たに提案した. その際homogeneous Ansatzと呼ばれるAnsatzを用いた. しかし系の外場を正しく取り扱おうと, 従来用いられている手法ではバリオン数密度が有限な状態を記述できない. そこで本論文ではIR境界条件と呼ばれる境界条件を切り替えることでバリオン数密度の相転移を記述する新たな手法を提案した. 系のグランドポテンシャル密度の比較とGubser-Klebanov-Polyakov-Witten処方と呼ばれるホログラフィックQCDの手法を用いて境界条件を決定し, 5次元時空の場の配位を運動方程式から求め, 実際に本手法を用いて有限密度QCD物質を記述した. さらに相転移バリオン化学ポテンシャルや相転移密度, 状態方程式といった物質を特徴付ける物理量を求め, この物質の性質を研究した. その結果, バリオン数密度の相転移とカイラル相転移が一次相転移として同時に起こることなどが明らかとなった. また実現した物質に対して, 高密度の閉じ込められたQCD物質という物理的解釈を与えた.

得られた結果から, homogeneous Ansatzでは記述できない, 比較的低密度な相がホログラフィックQCD模型で実現する可能性を新たに提案した. これまでに別の有効模型の解析から非一様相の出現が低密度領域において示唆されており, この相がhomogeneous Ansatzで記述できない相に該当する可能性が考えられる. このように他の有効模型の結果と本研究の結果を複合的に照らし合わせながら, 有限密度QCDの性質に迫ることができる.

また本研究で与えたホログラフィックな有限密度計算の枠組みは, 有限のクォーク質量に対するものである. ゆえに従来のホログラフィック模型では不可能だった, スtrenジクォークの質量を考慮した, 有限密度系のフレーバー対称性の拡張が可能である. スtrenジクォークの影響を考慮すると理論計算が中性子星の観測結果を再現できなくなる問題が有限密度QCDで知られており, ハイペロンパズルと呼ばれる. 本研究はハイペロンパズル解決へ向けた基礎的研究としての位置付けを有する.