

課題名 (タイトル) :

第一原理による有限密度 QCD の研究

利用者氏名 : 境 祐二

所属 : 和光研究所 仁科加速器研究センター 理論研究部門 初田量子ハドロン物理学研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係
クォークとグルーオンは通常ハドロン (核子や中間子など) の中に閉じ込められており、個別に取り出すことはできない。しかし、1 兆度以上の高温、あるいは高密度の環境ではクォーク・グルーオン・プラズマと呼ばれる新たな相が現れる。温度と密度を変数とするパラメタ空間で、QCD は豊かな相構造を持つと予想される。こうした QCD 相転移の詳細は、初期宇宙の進化や、高密度相が実現される可能性がある超新星爆発を理解する上で重要になる。こうした QCD の極限状態を理解しようと、クォーク・グルーオン・プラズマを地上で実現する高エネルギー原子核衝突実験が RHIC や LHC で国際的プロジェクトとして進められている。それらの性質の解明にも QCD 相転移の理解が欠かせない。QCD は強結合で非常に非線形性の強い理論なので、その理論的解析は一般に非常に困難である。格子 QCD にもとづく計算機シミュレーションは、その唯一の系統的アプローチを与えている。本研究課題では、格子 QCD 計算を用い有限温度密度相転移を解析し、宇宙初期や中性子星の中心部の解明を目指す。
2. 具体的な利用内容、計算方法
しかし、格子 QCD 計算は有限密度で符号問題を持っており、計算手法が確立していない。そこで符号問題のない領域に着目し、一般に有限密度でのゲージ理論の性質を理解する。そのような領域として、アイソスピン密度、カイラル密度、虚数密度領域、クォークの色自由度を 3 から 2 に落とした two color QCD がある。これらの領域を格子 QCD によるモンテカルロ計算を用いて系統的に解明する。

3. 結果
まず、アイソスピン密度とカイラル密度領域に着目して研究を行った。アイソスピン密度は中性子星内部で、カイラル密度は高エネルギー原子核衝突実験で重要となる量である。当領域は先行研究がなく、どのような相構造が現れるか有効模型を用いて解析した。本研究内容は日本物理学会秋季大会にて発表している。
次に、two color QCD(QC₂D)の相構造について格子 QCD を用いて解析した。QCD の符号問題を避ける方法として、虚数密度から解析接続する方法がある。QC₂D では密度が虚数でも実数でも符号問題なく直接計算できるため、解析接続法の妥当性を確かめることができる。QC₂D の虚数、実数密度における相図を改良ウィルソン作用を用いて解析した。本研究内容は日本物理学会春季大会にて発表予定である。
4. 今後の計画・展望
QC₂D の相構造および様々な物理量に対する密度効果について解析する予定である。QC₂D は、高温高密度において閉じ込め相転移やカイラル相転移を起こすなど多くの点で QCD と似た性質を持つ。しかし、今まで QC₂D の詳細な解析は行われてこなかった。QC₂D の詳細な解析を行い、物理量に対する密度効果について解析する。

平成 24 年度 RICC 利用研究成果リスト

【国際会議、学会などでの口頭発表】

Extreme QCD 2012, Washington D.C.

Yuji Sakai 「Qaurk-gluon thermodynamics with Z_N symmetry」

日本物理学会秋季大会, 平成 24 年 9 月, 京都産業大学

境祐二, Mao Hong, 初田哲男 「QCD Phase Diagram at chiral and isospin chemical potentials」