

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 : 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はハドロン内から解放され非閉じ込め状態になり、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。また、そのときクォークの質量は急激に減少しカイラル相転移といわれる現象が現れる。このように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、クォークの色自由度を 3 から 2 に落とした two color QCD (QC₂D) がある。QC₂D は閉じ込め相転移など現実の QCD と似た性質を持つ

ており、密度の効果でこれらの相転移がどう変化するかを調べることができる。QC₂D を格子 QCD と同様に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、QC₂D の相構造について解析した。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や Reweighting 法がある。これらの回避法は原理的には有限密度の情報を問題なく得られるはずだが、数値計算上いろいろな近似を行う必要があり、近似をした結果が正しい結果を与えるとは限らない。そこで、これらの方法の妥当性を示す必要がある。QC₂D において解析接続法と Reweighting 法の妥当性について解析した。本研究内容は日本物理学会秋季大会および国際会議「Lattice 2013」にて発表している。

次に、密度効果によりクォークの閉じ込めやカイラル対称性の破れなどがどう影響を受けるかを調べた。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。これらの現象に敏感な量について密度依存性を調べた。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

本年に引き続き、有限密度 QC₂D を詳細に解析し、様々な物理量の密度依存性について解析して行く予定である。

平成 25 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】

31st International Symposium on Lattice Field Theory, August 02, Mainz, Germany

Yuji Sakai

「Analytic continuation in two color QCD with clover-improved Wilson fermion at finite density」

Extreme QCD 2013, August 06, Bern, Switzerland

Yuji Sakai

「Analytic continuation in two color QCD with clover-improved Wilson fermion at finite density」

日本物理学会年次大会, 平成 24 年 3 月, 広島大学

境祐二, 中村純, 初田哲男 「Two-color QCD Phase Diagram with Clover Improved Wilson Fermion」

日本物理学会秋季大会, 平成 24 年 9 月, 高知大学

境祐二, 中村純 「Density distribution and correlation in two color Lattice QCD」