

修士論文概要 (2013 年度)

大阪大学大学院 理学研究科 物理学専攻 原子核理論研究室

非閉じ込め相における チャームクォークの拡散現象の格子QCDによる解析

池田 惇郎

概要

RHIC 及び LHC における重イオン衝突実験に対する流体模型の成功以降、強結合多体系の一つであるクォークグルーオンプラズマ (QGP) の輸送係数は実験による測定の対象として興味を持たれている。また輸送係数は流体計算の入力としても重要である。輸送係数を理論的に求めようという試みは AdS-CFT 対応によるもの、Boltzmann 方程式を用いたもの、格子 QCD を用いたものなどがなされている。輸送係数は久保公式によってスペクトル関数の低エネルギー極限と結び付けられる。しかし解析接続の問題のため、格子 QCD から得た虚時間相関関数からスペクトル関数の低エネルギー極限の情報を引き出すには工夫が必要であることが知られている。

本研究では非等方位が 4 で格子空間が $64^3 \times N_\tau$ 、 $32^3 \times N_\tau$ の 2 種類の格子を用いてクエンチ近似で計算された相関関数から輸送係数を引き出すことを次の方法を使って試みた。

- チャームクォークカレントが 2 次の流体方程式に従うことを仮定すると、スペクトル関数の低エネルギー構造に制限を与えることができる。この制限の下スペクトル関数の構造を仮定し、格子 QCD の相関関数にフィッティングすることで輸送係数を得ることを試みた。
- 久保公式を用いると媒質に対して運動量を持った系のスペクトル関数は低エネルギー極限で値を持たないことがわかる。スペクトル関数が負値をとれるよう Maximum entropy method (MEM) を拡張し、静止系と運動する系の相関関数の差から静止系のスペクトル関数の低エネルギーの情報を引き出すことを試みた。
- 同じゲージ配位から生成された異なる運動量を持った系の相関関数は強い相関を持つ。この事実を取り込み、MEM を拡張することで統計精度を上げより信頼できる輸送係数を相関関数から引き出すことを試みた。

格子 QCD 数値解析より得られたクォークスペクトル関数を用いた 非閉じ込め相のレプトン対生成率の計算

金 泰広

概要

重イオン衝突実験において測定されるレプトン対生成量は、レプトン対が強い相互作用をしないために、衝突で生成される高温物質からの直接的な信号となる。アメリカブルックヘブン国立研究所の Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) における PHENIX グループによるレプトン対生成量の観測結果は、ハドロン粒子に対する媒質効果のみでは説明できない大きな生成量を示している。このことは、非閉じ込め相からのレプトン対生成量への寄与が無視できない程大きいことを示唆している。従って、非閉じ込め相からの寄与の解析が重要になる。しかし現状では、非閉じ込め相からのレプトン対生成量は、摂動論的な Hard Thermal Loop (HTL) 近似に基づいた計算しか行われていない。

本研究では、非閉じ込め相から発生するレプトン対生成率を非閉じ込め相転移温度付近で解析する。重イオン衝突実験で到達される温度領域において、摂動論的量子色力学は、結合定数 g が大きくなるため正当性を失う。そこで本研究では非摂動性を考慮する為に、解析の際、格子 QCD 数値解析より得られたクォーク伝搬関数を用いる。またこの際、頂点関数の補正を、ゲージ不変性を満たすよう決定する。これらの関数から、強結合する温度一定の非閉じ込め相からのレプトン対生成率を計算する。そして HTL 近似で得られたレプトン対生成率との違い及び RHIC の結果への非閉じ込め相由来の寄与について考察する。

Effects of the global charge conservation on time evolution of cumulants of conserved charges in relativistic heavy ion collisions
(相対論的重イオン衝突実験における保存電荷ゆらぎの時間発展に対する有限体積効果)

坂井田 美樹

概要

クォーク及びグルーオンがハドロンへの閉じ込めから解放され、基本自由度として振る舞うクォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) の性質を理解することは、宇宙初期や量子色力学 (QCD) を理解する上で、重要な研究課題の一つである。RHIC や LHC で行われている重イオン衝突実験では、地上で QGP を生成し、その性質を盛んに調べている。

重イオン衝突実験において、QGP の情報を抽出するのに適していると考えられている観測量の一つに保存電荷のゆらぎが挙げられる。実際、近年の保存電荷ゆらぎの観測結果は、ゆらぎが熱平衡値に達しておらず、QGP の情報を含むことを示唆する、興味深い振舞いを示している。しかし、ゆらぎの熱平衡値からの抑制は、重イオン衝突実験で生成される高温物質の有限体積効果によっても起こりうる。従って、実験結果の持つ物理的意味を正しく理解するためには、有限体積効果が観測されるゆらぎに与える影響を見積もることが不可欠である。

有限体積効果に関する先行研究では、ゆらぎが熱平衡状態であるという仮定を置いていた。しかし、重イオン衝突実験で生成された高温物質が時間発展する時間は有限であり、観測されるゆらぎは本質的に非平衡なものである。そのため、高温物質が時間発展することを考慮に入れて、保存電荷ゆらぎに対する有限体積効果を評価することが重要である。

本研究では、重イオン衝突実験で観測可能な保存電荷の高次ゆらぎの時間発展を、拡散マスター方程式を用いて記述する。それを特に有限系で解き、ゆらぎの rapidity 幅依存性を調べることによって、保存電荷高次ゆらぎに対する有限体積効果を見積もる。また、ゆらぎの rapidity 幅依存性を用いることによって、有限体積効果を含めた高温物質の時間発展の様相、ハドロン相における拡散係数などの情報を抽出する方法について提案する。

ニュートリノフラックスと ニュートリノ原子核反応におけるミューオン生成断面積

村田 知也

概要

ニュートリノ振動に関する LBL 実験には準弾性散乱を利用してニュートリノフラックスが抽出されている。その際、ミューオンの散乱角 θ_μ とエネルギー E_μ 分布からニュートリノのエネルギーが再構成される。その際、標的核子が静止しており核子とニュートリノが弾性散乱をしているという仮定が用いられてきた。またその際には、シミュレーションを用いて終状態相互作用、非準弾性散乱の過程を除去して、準弾性散乱のイベントを選び出している。しかし実際には様々な過程が量子力学的に干渉しているので、完全に準弾性散乱過程を分離することはできない。そこで我々は、反応機構について仮定を置かないフラックスの導出方法を考案した。

実験で得られる観測量は、ニュートリノフラックス $\Phi(E_\nu)$ で平均化されたミューオン生成微分断面積

$$\left\langle \frac{d^2\sigma(E_\mu, \theta_\mu)}{dE_\mu d\Omega_\mu} \right\rangle = \int dE_\nu \frac{d^2\sigma(E_\mu, \theta_\mu, E_\nu)}{dE_\mu d\Omega_\mu} \Phi(E_\nu) \quad (1)$$

である。この式から理論的に計算したニュートリノ原子核反応断面積 $\left(\frac{d^2\sigma(E_\mu, \theta_\mu)}{dE_\mu d\Omega_\mu} \right)_{\text{th}}$ を用いてニュートリノフラックス $\Phi(E_\nu)$ を再構成した。この際、最大エントロピー法を用いて $\Phi(E_\nu)$ を求めた。この方法を用いてフラックス $\Phi(E_\nu)$ を十分な精度で求めるために、擬似実験データ $\left\langle \frac{d^2\sigma(E_\mu, \theta_\mu)}{dE_\mu d\Omega_\mu} \right\rangle$ と理論値 $\left(\frac{d^2\sigma(E_\mu, \theta_\mu)}{dE_\mu d\Omega_\mu} \right)_{\text{th}}$ に求められる精度を調べた。