

博士論文概要 (2020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

博士論文公聴会の公示（物理学専攻）

学位申請者： 柳原良亮

論文題目： Distribution of Energy Momentum Tensor around Static Charges in Lattice Simulations and an Effective Model

（格子シミュレーションおよび有効模型による静的電荷周辺のエネルギー運動量テンソル分布の解析）

日時： 2021年2月3日(水) 16:50 - 18:20

場所： 理学研究科 H 棟 7階セミナー室 (H701 号室)

（部屋の換気等、新型コロナウイルス感染症拡大防止に留意しつつ、対面形式にて行う。

ご来聴の方はマスクの着用をお願い致します。）

オンラインによる聴講も可能。URL 等については、学内の方は下記を参照。

<https://www.phys.sci.osaka-u.ac.jp/naibu/kouchoukai.html>

学外の方は主査浅川 (yuki[at]phys.sci.osaka-u.ac.jp [at]=@) に問い合わせること。

主査： 浅川正之

副査： 大野木哲也、保坂淳、石井理修、北沢正清

論文要旨：

エネルギー運動量テンソル(EMT)は物理学における最も基本的な観測量の 1 つである。近年、勾配流と呼ばれる手法に基づく全く新しい EMT の解析法が提案され、格子ゲージ理論においても適切に EMT を定義できることが示された。これを受け、勾配流法に基づく EMT を用いた熱力学量の格子数値解析が行われ、この解析手法の有用性が実証された。

本研究では、勾配流法を用いて SU(3) Yang-Mills (YM) ゲージ理論に基づく格子数値計算を行い、静的電荷が存在する非一様系での EMT 分布を解析した。静的電荷は SU(3) YM ゲージ理論のような複雑な量子系を探索するためのプローブの役割を担う。このとき EMT は静的電荷に対する系の局所的な応答を特徴づけ、非摂動現象に対する重要な知見を与える。さらに本研究では、可換 Higgs (AH) 模型と呼ばれる有効模型を用いて EMT 分布を解析し、格子数値解析の結果との比較も行った。

本論文では、まず SU(3) YM ゲージ理論の非閉じ込め相における 1 体クォーク周辺の EMT 分布に対する格子数値解析を行った。連続極限までとった解析で得られた EMT 分布は、古典電磁気学や有限温度場の理論に基づく Leading-order (LO) の計算結果とは明確な違いを示すということを示した。また EMT 分布の近距離のふるまいに着目し、摂動論の LO の結果と比較することで強い相互作用の結合定数の情報を抜き出した。一方で、長距離の振る舞いは媒質による熱遮蔽効果を示唆していることを見出した。

次に SU(3) YM ゲージ理論の真空に目を向け、静的クォーク・反クォーク ($Q\bar{Q}$) 周辺での EMT 分布を格子数値解析により調べた。真空では $Q\bar{Q}$ 系の力の伝搬がフラックスチューブと呼ばれる 1 次元的構造に集約される様相を、ゲージ不変な EMT 分布として描き出すことに成功した。また EMT の横方向の分布が、可換理論の結果とは質的に全く異なるということを示した。

定量的に明らかにした。さらに解析の整合性を確認するために、 $Q\bar{Q}$ ポテンシャルの微分と EMT の空間成分の積分からそれぞれ定義される力が一致することを示した。

最後に、フラックスチューブ周辺の局所的空間構造をさらに調べるために、保存則および AH 模型に基づき、 $Q\bar{Q}$ 系の EMT 分布を解析した。EMT が満たす保存則に着目すると、上の第一原理計算で得られた結果は、 $Q\bar{Q}$ 間距離が有限であることの重要性を強く示唆していることが分かった。そこで AH 模型に基づき、無限長および有限長の磁気渦糸周辺の EMT 分布を調べ、双対超伝導の観点から格子数値解析の結果と比較した。格子計算の結果を再現する AH 模型のパラメータは、広範にわたって存在しないことを明らかにした。

博士論文公聴会の公示（物理学専攻）

学位申請者：三浦崇寛

論文題目：Quantum dissipation of quarkonium in the quark-gluon plasma via Lindblad equation

（リンドブラッド方程式によるクォークグルーオンプラズマ中のクォークoniumの量子散逸過程の解析）

日時：2021年2月5日(金) 10:30 - 12:00

場所：理学研究科 H 棟 7階セミナー室 (H701 号室)

（部屋の換気等、新型コロナウイルス感染症拡大防止に留意しつつ、対面形式にて行う。
ご来聴の方はマスクの着用をお願い致します。）

主査：浅川正之

副査：浅野建一、緒方一介、阪口篤志、赤松幸尚

論文要旨：

高エネルギー重イオン衝突実験によって、クォークグルーオンプラズマが生成されたと考えられている。この実験で観測される様々なデータには、クォークoniumの収量がある。クォークoniumとは、重いクォーク対の束縛状態のことであり、チャーモニウムとボトモニウムがある。クォークグルーオンプラズマの生成のシグナルとして、加速器 RHIC でそれらの収量の減少が確認された。より高エネルギーの加速器 LHC では、チャーモニウムの収量が RHIC での実験ほど減少しない一方で、ボトモニウムの収量はより減少している。このようなクォークoniumの収量に関するデータには、クォークoniumが周囲の媒質と相互作用しながらどのように運動してきたかが反映されている。そのため、実験データの解釈に向けても、その運動を理論的に調べることは重要となる。本研究では、理論的な枠組みである量子開放系理論を用いて、クォークグルーオンプラズマ中でのクォークoniumのダイナミクスについて調べた。特に、クォークoniumの相対運動に量子散逸の有無がどのように寄与するかを議論した。具体的には、クォークoniumの相対運動をリンドブラッド型のマスター方程式として導出し、空間一次元でその数値解析を行った。まず、カラー自由度を考慮していない $U(1)$ の場合について解析し、次に、クォークoniumのカラー状態間の遷移を考慮するカラー $SU(3)$ の場合について解析した。 $SU(3)$ のカラー自由度と量子散逸の両者を取り入れた解析は、これまでにはない初めてのものである。この解析により、散逸のもとでは、一定温度の媒質中でクォークoniumが平衡化することが確認された。そして、その平衡分布はボルツマン分布に漸近することが明らかになった。最後に、重イオン衝突実験に即して、クォークグルーオンプラズマの温度減少とその短い寿命を考慮して数値解析を行った。結果、散逸は短時間スケールでもクォークoniumの収量に無視できない寄与を与えることを明らかにした。これは、散逸を考慮していない複素、確率ポテンシャル、また、pNRQCD による先行研究の解析では不十分であることを示唆する。