

Title	Quantum dissipation of quarkonium in the quark-gluon plasma via Lindblad equation
Author(s)	三浦, 崇寛
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/82003
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (三浦崇寛)

論文題名

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コニウムの量子散逸過程の解析)

論文内容の要旨

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の一つに、クォーコニウムの収量がある。クォーコニウムとは、重いクォークとその反クォークのペア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 の実験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 の実験では、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。このようなクォーコニウムの収量に関するデータには、クォーコニウム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。実験データの解釈に向けて、その運動を理論的に記述して調べることは重要となる。

本論文では、量子開放系理論の枠組みを用いて、クォークグルーオンプラズマ中でのクォーコニウムのダイナミクスについて調べた。特に、クォーコニウム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、クォーコニウム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、クォーコニウムの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、クォーコニウム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。これらの解析により、散逸を考慮するときには、一定温度の媒質中でクォーコニウム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。この分布は解析的に求められないが、分配関数とクォーコニウムのハミルトニアン固有値から得られる分布と同等のものであった。

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。その結果、クォークグルーオンプラズマの寿命程度の短時間のスケールでも散逸がクォーコニウムに寄与することが明らかになった。特に、散逸を考慮しないと、クォーコニウムの基底状態の存在確率を低く見積もることが読み取れた。そのため、実験データとしてのクォーコニウムの収量に散逸が無視できない寄与を与える。これは、散逸を考慮していない複素ポテンシャル、確率ポテンシャル、そして、potential non-relativistic QCD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。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (三 浦 崇 寛)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 浅川 正之
	副 査	教授 浅野 建一
	副 査	准教授 緒方 一介
	副 査	准教授 阪口 篤志
	副 査	助教 赤松 幸尚

論文審査の結果の要旨

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、クォークコニウムの収量がある。クォークコニウムとは、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、RHICにおいて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コニウムの収量に関するデータには、クォークコニウム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という履歴が反映されている。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。本論文は、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コニウムのダイナミクスについて調べたものである。特に、クォークコニウムの相対運動に量子散逸の有無がどのように寄与するかに対する議論を行った。

具体的には、クォークコニウム中のクォーク・反クォークの相対運動の情報を与える密度行列が満たす方程式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。実際の数値計算は、量子拡散法を用いてリンドブラッド型のマスター方程式をそれと数学的に同値な非線形確率論的シュレーディンガー方程式に置き換えてそれを解くことにより行った。

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、クォークコニウム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。 $SU(3)$ という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、散逸がある場合、一定温度の媒質中でクォークコニウム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の低下とその短い寿命を考慮して数値解析を行った。その結果、反跳に起因する散逸はここで問題となるような短時間スケールでもクォークコニウム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、これまでの散逸を考慮していない複素ポテンシャル、確率論的ポテンシャル、pNRQCD などの定式化による先行研究で行われた解析は不十分であるということを意味する。この結果の高エネルギー重イオン衝突実験におけるクォークコニウム生成についての理解に与えるインパクトは小さいものではない。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。