



Title	In-medium dynamics of quarkonium with colorful stochastic potential
Author(s)	梶本, 詩織
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/76365
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (梶本 詩織)	
論文題名	In-medium dynamics of quarkonium with colorful stochastic potential (カラー自由度を含む確率ポテンシャルによる媒質中クォーコニウムのダイナミクス)
論文内容の要旨	
相対論的重イオン衝突実験において、クォーコニウムの収量抑制は、クォーク・グルーオン・プラズマ (QGP)の生成を示唆するシグナルの一つであると考えられている。J/ψ 粒子の収量抑制の理論的予言を皮切りに、有限温度媒質中でのクォーコニウムのふるまいは長く注目されてきた。摂動論や格子QCD計算からは有限温度中でのクォーコニウム間ポテンシャルが複素数になることが示され、通常のポテンシャルモデルを超えたダイナミクスの理解が望まれている。 近年、量子開放系の枠組みによるクォーコニウムの媒質中ダイナミクスの理解が急速に進んでいる。博士論文では、量子開放系の枠組みを用いて弱結合QCDより導出された確率論的ポテンシャルモデルを通して、クォーコニウムの媒質中でのダイナミクスへの理解を深めた。このモデルは、クォーコニウム相対運動に関するハミルトニアン中にノイズを含み、確率論的Schrödinger方程式によってQGP中にあるクォーコニウムの時間発展を記述する。このノイズはクォーコニウムと媒質中のグルーオンや軽いクォークとの散乱に由来するものであり、ハミルトニアン中ではクォーコニウムポテンシャルの熱ゆらぎを表す。複素ポテンシャルは、このノイズの相関から自然に理解することができる。 本論文では、ポテンシャルによるデバIColor遮蔽といった静的な機構に加えて、波動関数デコヒーレンスと呼ばれるノイズによる動的な機構が、クォーコニウムの収量抑制現象を理解する上で重要であることを明らかにした。数値計算において、初期状態として用意したクォーコニウム束縛状態の生き残り確率に着目することで、ノイズ相関長がクォーコニウム波動関数よりも十分小さい場合に波動関数デコヒーレンスの影響が大きくなることを確認した。 また本論文では、確率論的ポテンシャルモデルをカラー自由度を含む形に拡張して扱うことで、クォーコニウムのカラー一重項・八重項状態についてのダイナミクスを解析した。カラーを含むこのモデルでは、熱揺らぎの持つ対称性によって初期状態波動関数の持っていたパリティが近似的に保存されることを指摘した。カラーSU(2), SU(3)自由度を含む確率論的Schrödinger方程式を数値的に解くことによって、SU(3)カラー八重項状態では、QGPの寿命程度の時間が経つと量子的な相関がほぼ失われることを確認した。最後に、初期状態がデバIColor遮蔽ポテンシャルまたはデバIColor遮蔽ポテンシャルの一重項基底状態である場合、ここで考えるパラメータの範囲では、現象論的な複素ポテンシャルを用いたSchrödinger方程式の計算によっても初期状態生き残り確率が得られることを示した。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (梶 本 詩 織)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	浅川 正之
	副 査	教授	保坂 淳
	副 査	准教授	阪口 篤志
	副 査	准教授	石井 理修
	副 査	助教	赤松 幸尚

論文審査の結果の要旨

現在アメリカのブルックヘブン国立研究所、ヨーロッパの CERN で行われている高エネルギー原子核衝突実験において、クォーコニウムの収量抑制は、クォーク・グルーオン・プラズマの生成を示唆するシグナルの一つであると考えられている。1986 年の J/ψ 粒子の収量抑制の理論予言を嚆矢として、有限温度媒質中のクォーコニウムのふるまいは長く注目されてきた。いままでの、高温ではクォーコニウムは溶解し、低温ではクォーコニウムの存在は影響を受けないという単純な二分論から脱却するため、近年、媒質中でのクォーコニウムのダイナミクスを記述する必要性が認識され、そのための理論的枠組みとして量子開放系の方法が用いられることが多くなってきた。本博士論文では、量子開放系の理論から導出された模型の一つである確率論的ポテンシャル模型を用いてクォーコニウムの量子的ダイナミクスが調べられた。この模型は、クォーコニウムと媒質中のグルーオンや軽いクォークとの散乱に由来する熱ゆらぎ項をクォーコニウムのポテンシャル中に含む。

この記述においては、静的なデバйкаラー遮蔽効果に加えて、時間発展の中でノイズがもたらす波動関数デコヒーレンスがクォーコニウムの束縛状態を壊す動的な機構になっている。この機構は従来認識されていなかった、新しい機構である。本博士論文においては、波動関数デコヒーレンスが存在確率の時間変化に与える影響を数値計算し、クォーコニウム波動関数の広がり大きさよりもノイズ相関長が小さい場合ほど波動関数デコヒーレンスのために壊れやすいことを確認した。また、カラー自由度を含まない確率ポテンシャル模型、および $SU(2) \cdot SU(3)$ カラー自由度を含む確率論的ポテンシャル模型を用いてクォーコニウムの時間発展が調べられた。非可換ゲージ理論の場合、つまりカラー自由度を含む場合の計算は全く新規的なものである。この博士論文では、特にカラー $SU(3)$ の場合に注目し、カラー自由度を取り入れることによって、どのような影響がカラー 1 重項状態・8 重項に現れるのかを以下の観点から議論された。

- (1) 有限温度中でのカラー 1 重項・8 重項状態は、ポテンシャルからそれぞれ引力・斥力を受ける。
- (2) 時間発展の中でノイズは波動関数に $SU(3)$ 回転を与える。カラー自由度を含むノイズの性質のために、時間発展の初期では、1 重項状態では初期状態波動関数の持つパリティ対称性が保存され、8 重項状態では 1 重項状態と逆のパリティを持つ。この初期状態パリティ保存は時間と共に徐々に失われる。

これらの結果は、高エネルギー原子核衝突におけるクォーコニウム生成という重要な観測量を理解するためだけでなく、理論的にも新知見を含み、学術的な価値は高いと評価できる。

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。