

論文審査の結果の要旨

氏名： ロトコプ アレクサンダ

本論文は英文で書かれ、本文6章 (section) と補章6節 (appendix) から構成されている。第1章は序論で、この研究の背景と動機がまとめられ、この論文の目標と論文の構成、残りの章の簡単な要約が述べられている。第2章はこの研究の背景となる理論的基礎 (QCD と格子ゲージ理論) のレビューに当てられ、関連する高エネルギー原子核衝突の実験の現状も簡単にまとめられている。第3章では、この研究で新しく導入された、有限温度における重いクォークとその反粒子の間のポテンシャルの新しい導出方法が説明され、第4章でそれを格子ゲージ理論の数値シミュレーションから非摂動的に計算する具体的方法が述べられている。第5章では、その数値計算結果が報告され、その物理的意味が議論されている。第6章は論文のまとめと今後の課題にあてられ、補章で計算の詳細が補足されている。

この論文の主題は、有限温度のQCDで記述される環境、特にクォークが閉じ込めから解放された状況で、重いクォークとその反粒子の結合状態 (クォークonium) をどのように記述するかという問題で、特に、QCDの非摂動的効果を取り込んで有効ポテンシャルをどのように決めるかという問題に新しいアプローチを提案している。これまでの静的なポテンシャルの計算結果が強い遮蔽効果でチャームoniumの融解が転移点温度近傍で起こることを示唆しているのに対し、有限温度のハドロン型相関関数のスペクトル関数の計算結果は、かなり高温でもチャームonium励起が生き残ることを示唆していた。この研究は、この2つの理論的予測の食い違いの原因を明らかにすることが1つの大きな動機となっている。

著者等は、有限温度におけるクォークoniumの有効ポテンシャルを決めるのに、真空中でクォークoniumのスピンの依存する有効ポテンシャルを導出した先行研究の方法の有限温度への拡張を行なった。このような有効ポテンシャルを導出する為には、通常のウィルソンループの「静的な」計算から一歩進んで、クォークの動的な効果を取り入れる必要がある。筆者等は、ウィルソンループをクォーク間距離を固定した実時間の相関関数に分割し、その相関関数のスペクトル表示から有限温度のクォークoniumの有効ポテンシャルを導出した。その詳細は3章で述べられ、スペクトルのピークの位置からクォークoniumの通常のパテンシャルの強さが得られ、ピークの幅からその虚数成分が得られることが示されている。このような複素ポテンシャルは、既に別の方法によっても得られており、Laine等の摂動論を用いた計算では、通常のパバイ遮蔽された実ポテンシャルの他に、集団運動に所謂ランダウ減衰をもたらすのと同じ効果によりポテンシャルに虚数成分が現れることが示されている。この研究では、摂動論は用いず、強結合プラズマ中のクォークonium複素有効ポテンシャルを、格子ゲージ理論の数値シミュレ-

ションのデータを用いて評価をしている。

格子ゲージ理論の数値シミュレーションでは、通常虚数時間を用い、3+1次元ミンコフスキー時空でのファインマン経路積分の計算を、4次元ユークリッド空間を格子を用いて古典統計力学の計算に置き換え、重要サンプル法に基づくモンテカルロ数値計算で大型計算機を用いて実行する。従って、元のミンコフスキー時空での実時間相関関数を計算するには、4次元ユークリッド空間で得られた虚数時間の相関関数を実時間に解析接続する必要があるが、これを数値計算で行なうのは計算誤差が累積し困難である。著者等は、最大エントロピー法(MEM)とよばれる画像処理に用いられる手法を用いて、スペクトル関数の計算を試みている。この方法は、有限温度におけるハドロン型励起モードのスペクトル関数を計算する際に共同研究者等によって導入されたが、その信頼性については、第4章で更に詳しく述べられている。

著者等はこの計算方法を用いて、ウィルソン相関関数の格子ゲージ理論の数値シミュレーションのデータからスペクトル関数を計算し、その結果から、有限温度媒質中でのクォークoniumの有効ポテンシャルを求め、第5章で計算結果を詳しく報告している。その結果はこれまで考えられてきた有限温度のクォークonium有効ポテンシャルと大きく異なっている。まず、実ポテンシャルに対しては低温相において閉じ込め型の線形ポテンシャルが得られたが、これは高温相になっても存在するだけでなく、ポテンシャルの傾きは高温で更に大きくなり、より強いひも型ポテンシャルが得られている。また、ポテンシャルの虚数成分もクォーク・反クォーク間の距離に比例して増大している。この後者の結果は、摂動論的に得られた結果と基本的に一致しているが、前者の実ポテンシャルの振る舞いは摂動論による予測と定性的にも大きく異なっている。

このように、この博士論文は有限温度の強結合QCDプラズマ中でのクォークoniumの有効ポテンシャルを新しい方法で求め、これまでとは異なる非常に興味ある結果を得ている。この結果に基づき、著者は、転移近傍の強結合領域においてクォークoniumが融解する理由は、結合ポテンシャルがデバイ遮蔽効果によって弱くなるのが原因ではなく、クォークoniumの周りの媒質の揺らぎの効果によって虚数ポテンシャルが強くなり、その減衰効果によって融解したと主張する。

この学位論文の内容の多くはまだ未発表の結果であるが、その一部は研究会で著者により報告され、この研究の要約がプロシーディングに掲載されている。

この論文で報告された研究は東京大学の指導教員である初田教授と佐々木助教との共同研究に基づいているが、本人の寄与が十分あり、博士号を授与するのに十分な内容であると審査員一致で判定した。