

氏名(本籍)	おのひろし 大野浩史(茨城県)			
学位の種類	博士(物理学)			
学位記番号	博甲第5626号			
学位授与年月日	平成23年3月25日			
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当			
審査研究科	数理物質科学研究科			
学位論文題目	A variational study on charmonium properties at finite temperature in lattice QCD (格子QCDにおける対角化法を用いた有限温度下でのチャーモニウムの性質に関する研究)			
主査	筑波大学教授	理学博士	青木慎也	
副査	筑波大学教授	理学博士	石橋延幸	
副査	筑波大学教授	理学博士	金谷和至	
副査	筑波大学准教授	理学博士	吉江友照	

論文の内容の要旨

クォークは通常は強い相互作用によりハドロンの内部に閉じ込められているが、非常に高温や高密度の環境では、相転移により、ハドロンが分解されてクォークがハドロンの外に溶け出す。このQCD相転移の性質を解明することは、初期宇宙の進化を理解する上で極めて重要と考えられている。本論文は、QCD相転移の実験的検証で最も決定的なシグナルと考えられているチャーモニウムの性質を、クォークの基礎理論であるQCDから直接研究するための新しい方法を提案し、その可能性と限界に関して報告したものである。

QCD相転移を地上で実現させ、その特性を研究する事を目的として、2つの重イオンを高エネルギーで衝突させる大規模実験が推進されている。もしQCD相転移が衝突点で実現していれば、衝突点で対生成された重いチャーム・クォークとその反粒子が束縛されることなく離れてしまい、それらの結合状態である J/Ψ チャーモニウムの生成が通常よりも少なくなるだろうと予想されている。最終的に J/Ψ として検出されるのは、 J/Ψ の励起状態である Ψ' や、P-波状態の χ_c が J/Ψ に崩壊した場合も期待されるので、 J/Ψ だけでなく Ψ' や χ_c 等が高温でどうなるかも重要である。これらのチャーモニウムの温度依存性を直接QCDから導くために、格子QCDによる数値的研究が進められている。チャーモニウムの全ての性質はスペクトル関数で表現されるが、多くの格子QCD計算では、最大エントロピー法が用いられている。ここで、最大エントロピー法で得られるスペクトル関数は連続的な関数だが、格子上では本来離散スペクトルしか存在せず、連続的なスペクトル関数から導かれるクォーク物質の性質をそのまま採用して良いか自明ではない。また、最大エントロピー法の結果には、様々な不定性があることが知られている。

本論文では、離散スペクトルのスペクトル関数を格子データから直接計算するために、対角化法を応用した方法が提案された。対角化法とは、同じ量子数を持つ様々なチャーモニウム試行演算子の組を考え、それらの様々な演算子間の相関関数行列を対角化することにより、基底状態と励起状態の寄与を分離し、それらの性質を精度良く評価する方法である。局所演算子の相関で定義されるスペクトル関数を評価するために、本論文では、試行演算子の組に局所演算子を含めた。対角化法の有効性を検証するために、まず自由クォー

クの場合を研究し、対角化法で試行演算子の数を充分大きく取れば、励起状態でも解析解をよく再現することを示した。それを受けて、次に、クエンチ近似 QCD の場合を研究した。ゼロ温度で、基底状態に関して最大エントロピー法の結果と一致する結果が再現されるが、励起状態に関しては、演算子間の距離と試行演算子数の両方を変化させることにより、より信頼性の高い結果を引き出せることを示した。他方、高温では、演算子間の最大距離が小さく抑えられていることにより、ここで採用されている試行演算子では漸近状態を十分に引き出せないが、 J/Ψ に関しては、スペクトル関数の顕著な変化が見られず、相転移温度の 1.4 倍程度まで溶け出す様相が見られないことを示した。 Ψ' や χ_c に関しては、格子間隔や統計精度、試行演算子の改良などが要求されている。

審査の結果の要旨

本論文では、有限温度 QCD におけるチャーモニウムのスペクトル関数を、格子上で期待される離散スペクトルの形で格子 QCD から直接計算する方法が提唱され、通常採用されている最大エントロピー法よりも信頼性の高い結果を引き出せることが示された。有限温度では、現状では明確な結論を引き出すまでに至っていないが、原理的に明確で、信頼性を直接検証可能な手法として、いくつかの改良の可能性を残している。その計算方法の簡便さから力学的クォークを含んだ計算への応用などその発展性、応用可能性も高い。

以上、本論文で得られた結果は、格子 QCD の数値計算法の有効性を広げ、その新しい発展を促すものである。理論的考察から数値計算まで幅広く含む研究であり、博士論文として十分な水準にあるものと認められる。

よって、著者は博士（物理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。