

論文審査の結果の要旨

氏名 シャロン ブリュノー アンドレ

本論文は、6章と補遺 A、B からなる。

第1章は、全体のイントロダクションであり、本論文の背景として、ハドロン物理、量子色力学 (QCD)、格子 QCD、格子 QCD による二粒子チャンネルの研究の歴史が概観され、また、本論文の目的が述べられている。HAL QCD (Hadrons to Atomic nuclei from Lattice QCD) 法をいくつかの新しいメソン-メソンチャンネルに適用すること、及び、HAL QCD 法を拡張し、また、HAL QCD 法の問題点を改善する新しい方法を提案することが本論文の目的である。

第2章は、格子 QCD のレビューにあてられている。第1節では、場の量子論、第2節では、連続時空中の QCD、格子時空中の QCD、格子 QCD による数値計算、第3節では、格子 QCD によるハドロンスペクトルの計算が説明されている。

第3章は、二粒子チャンネルにあてられている。第1節では、古典力学、量子力学、場の量子論における散乱理論、第2節では、Lüscher による有限サイズ法、第3節では、HAL QCD 法が説明されている。Lüscher による有限サイズ法では、シミュレーションによって得られる有限体積中の二粒子状態のエネルギーから散乱位相差を求めるのに対して、HAL QCD 法では、シミュレーションによって得られる波動関数にあたるものから、シュレジンガー方程式を満たす様に二粒子間のポテンシャルを定義する。

第4章では、従来の方法に代わる新しい方法の提案がなされている。まず、第1節で、非弾性チャンネルのエネルギーしきい値を超えて、どのように HAL QCD 法が拡張できるかが議論された後、第2、3節では、新しい方法として、有効ポテンシャル法と直接散乱位相差を引き出す方法であるカーネル近似法が提案されている。有効ポテンシャル法は、格子シミュレーションの結果から、有限体積におけるエネルギースペクトルを求める方法である。有効ポテンシャル法は、有限サイズ法における通常の変分法の拡張であり、HAL QCD 法のアイデアを取り入れることにより効率を高め、散乱位相差を求めるにあたっては、Lüscher の公式をそのまま用いることが特徴である。カーネル近似法は、Lüscher の公式を導出するのに用いられた理論的手法を一般化することによって、二粒子チャンネルにおける格子上の相関関数を詳細に研究することにより、二粒子の相互作用を厳密かつ効率的にモデル化する戦略を提案したものである。

第5章では、格子 QCD によるいくつかの二粒子チャンネルの研究の数値結果が示されている。まず、アイソスピン $I=2$ の $\pi\pi$ S 波チャンネルにおいて、新たに提案された有効ポテンシャル法とカーネル近似法の結果が示され、従来の有限サイズ法と HAL QCD 法によ

る結果と比べられている。実際の数値結果によって、提案された方法の優位性の確かめられたこと、将来他の系へ適用されることへの期待が述べられている。次に、より困難な、 ρ 中間子と結合するアイソスピン $I=1$ の $\pi\pi P$ 波チャンネルにおいて、HAL QCD 法による結果が示され、その問題点が議論されている。最後に、テトラクォークと呼ばれる4つのクォークの束縛状態の存在が、クォーク模型等によって示唆されている、チャームクォークを含むチャンネルにおいて HAL QCD 法による解析結果が示されている。実際のシミュレーションは、クォーク質量が現実的な値よりずっと大きいところでなされているが、結果のクォーク質量依存性から推測するとテトラクォークは存在しそうにないことが議論されている。

第6章では、論文の内容のまとめと結びが述べられている。

補遺 A は、有効ポテンシャル法、補遺 B は、カーネル近似法の導出の説明にあてられている。

本論文においては、HAL QCD 法を新たなメソン-メソンチャンネルに対して適用し、結果を得たこと、また、HAL QCD 法を検証し、その問題点を明らかにするとともに、二粒子チャンネルにおける格子上の相関関数の詳細な研究により、より厳密な理論的根拠に基づく新たな方法を提案したことが新たな成果であると認められる。提案された方法は、実際の応用において、従来の方法より明らかに優れていると確かめられたとまでは言えないが、今後の格子 QCD による二粒子チャンネルの研究において一定の役割を果たす可能性がある。

なお、本論文第3章及び第4章は、青木慎也、土井琢身、初田哲男、井上貴史、石井理修、池田陽一、佐々木健志、根村英克との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。