

氏名(本籍地)	趙 栄貴
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博 甲 第 7222 号
学位授与年月日	平成 27 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	数理解物質科学研究科
学位論文題目	Improvement of the Brillouin fermion action for heavy quark (重いクォークの物理に向けたブリルアンフェルミオン作用の改良)

主査	筑波大学教授	博士(理学)	藏増 嘉伸
副査	筑波大学教授	博士(理学)	石橋 延幸
副査	筑波大学准教授	博士(理学)	石塚 成人
副査	高エネルギー加速器研究機構教授	博士(理学)	橋本 省二

論 文 の 要 旨

LHCにおいてヒッグス粒子が発見された現在、素粒子標準理論の精密な検証実験は、標準理論を超える新しい物理の探索にとって重要である。例えば、これまでのところ、キャビボ-小林-益川(CKM)行列の要素である $|V_{ub}|$ または $|V_{cb}|$ の決定において、包含的(inclusive)および排他的(exclusive)なセミレプトニック崩壊を用いた実験結果の間には約 3σ の差異が報告されている。この不整合が標準理論を超える新しい物理の可能性を示唆している可能性もあるが、それを議論するためには既存の標準理論に起因する系統誤差を極力抑える必要がある。特に、CKM 行列要素の排他的決定のためには、量子色力学(QCD)シミュレーションを用いた計算によって、ハドロン非摂動的特性に起因する寄与を精確に評価することが必要である。

B 中間子のような重い質量のハドロンを扱う場合、現在の典型的な格子 QCD 計算では、ボトムクォークの離散化誤差が最大の系統誤差となる。この問題を回避するために、これまで様々な方法が提案されてきたが、それらは大きく3つのタイプに分類することができる:(i) 格子上における重いクォークの有効理論(HQET)または格子上における非相対論的 QCD(NRQCD)、(ii) 相対論的な重いクォークの作用、(iii) 改良された軽いクォークの作用。(i)と(ii)の場合は、クォーク質量に関する外挿に頼ることなくボトムクォークを直接取り扱うことができるが、重いクォークの作用を構成する項の係数に対して離散化誤差を取り除くための補正が必要となってくる。他方、Symanzik型改良を施した軽いクォーク作用の場合、その離散化誤差は系統的に取り除かれており、重いクォークに直接適用した場合も一定の有効性を持っている。

本論文では、連続理論に近い特性を持つブリルアンフェルミオンに着目し、重いクォークを取り扱うために幾つかの改良を提案している。また、カットオフスケールが $2.0\text{GeV}\sim 3.8\text{GeV}$ のクエンチ近似のゲージ配位を用いて、改良されたブリルアンフェルミオンのスケーリング特性を調べた。ゲージ配位はツリーレベルの Symanzik 改良が施されたゲージ作用を用いて生成され、格子サイズは約 $(1.6\text{ fm})^3$ で固定されている。

物理量としてチャーモニウムにおける光速度と超微細構造を採用し、それらの格子間隔依存性を調べた。また、比較のために Wilson フェルミオンと Domain Wall フェルミオンと呼ばれる異なるフェルミオンの定式化を用いて同じ計算を行った。三者を比較した結果、ブリルアンフェルミオンの結果は緩やかなスケーリング特性を示しており、改良されたブリルアンフェルミオンの有効性が確認できた。しかしながら、並行して行われた理論的および数値計算的考察により、このフェルミオンはダブラーの効果によって $m_q a$ (クォーク質量 \times 格子間隔) に対する適用限界を持っており、ボトムクォークを取り扱うためにはカットオフを約 10GeV まで上げる必要があることも判明した。

審 査 の 要 旨

〔批評〕

格子 QCD シミュレーションにおいて重いクォーク(チャーム・ボトムクォーク)を含む物理量を精度良く計算することは、素粒子現象論における長年の課題である。趙氏の研究は、格子上の重いクォークの定式化においてブリルアンフェルミオンに着目した新しいアプローチを試みたものである。ブリルアンフェルミオンは、もともと軽いクォーク(アップ・ダウン・ストレンジクォーク)の定式化として提案されたものであるが、趙氏は本研究において重いクォークに対する系統誤差を抑えるような新たな改良を加え、クエンチ近似を用いたシミュレーションによって物理量の格子間隔依存性を調べた。趙氏の研究により、改良されたブリルアンフェルミオンの重いクォークに対する有効性と適用条件が明らかとなった。これらの一連の研究結果は専門家の注目を集めており、高く評価できるとともに今後の研究の発展が期待できる。

〔最終試験結果〕

平成 27 年 2 月 13 日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(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。