

氏名(本籍)	新谷栄悟(愛知県)		
学位の種類	博士(物理学)		
学位記番号	博甲第3901号		
学位授与年月日	平成18年3月24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	Neutron electric dipole moment from lattice QCD (格子QCDによる中性子電気双極子モーメントの研究)		
主査	筑波大学教授	理学博士	金谷和至
副査	筑波大学教授	理学博士	青木慎也
副査	筑波大学助教授	理学博士	石塚成人
副査	筑波大学講師	博士(理学)	藏増嘉伸

論文の内容の要旨

この論文で、著者は、QCDの第一原理に基づいた非摂動的計算法である格子ゲージ理論を用いて、中性子の電気的雙極子モーメント(NEDM)の計算可能性を研究した。NEDMはQCDのCP対称性を破る真空構造に直接関係した物理量であり、モデルに依らないQCD第一原理からの計算可能性を示したこの論文の結果は、QCDの真空構造の解明に向けて重要である。

著者は、NEDMを計算するために、電磁カレントの中性子状態による行列要素から求められる形状因子から、NEDMに直接関与してくる因子を抜きだし、運動量転移のゼロ極限に持って行く方法を採用し、計算方法などを詳しく検討した。具体的には、形状因子を与える行列要素を3点関数から抜き出す方法論を理論的に検討し、正しい行列要素を得るには2点関数からくるCPの破れの寄与を差し引く必要があることを示した。この理論的な考察を元に、ドメインウォール型格子フェルミオンを用いて実際に計算を実行した。その結果により、理論的に予想される性質を確認し、さらに有限の運動量の場合にCPを破る形状因子の値を得ることができた。

この計算でNEDMの値を得るには、運動量転移のゼロ極限を取るため必要があるが、計算機資源の制約からそれほど簡単ではない。そこで著者は、運動量の外挿のいらない新しいNEDMの計算方法の開発に取り組んだ。この方法は、外電場による中性子の質量差からNEDMを測るものである。電気双極子モーメントはハミルトニアン中では電場と核子のスピンの相互作用項として定義できることから、外電場により核子のスピンアップとダウンの質量に電気双極子モーメントと電場の積に比例した差が現われることを使うものである。この方法は運動量の外挿という操作が必要ではないので、NEDMの系統誤差を小さく抑えられると期待される。クエンチ近似の場合に、この方法をテストし、ドメインウォール型格子フェルミオンとクローバー型格子フェルミオンの両方を用いて、NEDMのシグナルを得ることに成功した。また、両者の結果の間に大きな差のないことも確かめた。クローバーフェルミオンは、力学的なクォークを加えたシミュレーションに容易に応用が可能であり、かつ計算コストも小さいので、クローバー型でもシグナルが得られたことは、今後の展開において重要な結果である。

上記の結果はいろいろな系統誤差を含んでいるので、この論文ではその系統誤差のうち、有限体積効果と電場を導入したことによる周期的境界条件の破れの影響を評価した。前者は現在の体積でも計算結果に与える影響はそれほど大きなものではないが、後者はかなり大きいことがわかったので、この効果を押さえることが今後の課題である。

この論文で得られた結果は、NEDM の計算が実際に格子 QCD により可能であることを示唆するものであり、力学的なクォークを取り入れた計算に向けた重要な一歩である。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文では、QCD における CP を破る真空構造 (θ 真空) を決めるのに重要な役割を果たす中性子の電気双極子能率 (NEDM) を格子 QCD で計算する方法が提唱され、さらに実際に数値計算でその計算可能性が示された。これからわかるように、理論的考察から数値計算まで幅広く含むもので、博士論文としてはレベルの高いものであると評価できる。特に、従来は計算することがまったく不可能であった NEDM に対する数値的な結果が得られたのは、まだいろいろな系統誤差を含んでいるとはいえ、世界で初めてのことであり高く評価される。また、1つの方法で終わることなく、もう1つの新しい方法も検討し、そこでも NEDM のシグナルを得たことも評価される。新しい方法に対する新しい系統誤差の見積もりがきちっとなされれば、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、本学位論文で得られた結果は、素粒子物理学の研究における格子 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り、QCD における CP の破れに対する重要な情報を提供するものである。

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。