

学位申請論文公開講演会

日時：2026年1月28日(水) 15:00～

申請者：長村 尚弘 (E研)

場所：物理会議室 (C207)

題目：Loop-diagrammatic approach to QCD theta angle and its renormalization with dimensional regularization (QCD シータ角のダイアグラム計算法と次元正則化におけるそのくりこみ)

主論文の要旨

物質を構成する最小単位である素粒子の性質は、自然界の基本法則の理解に直結する。現代の素粒子物理学では、標準模型により多くの現象が記述されてきたが、その枠組みでは説明できない未解明現象も存在する。その一つが「強い CP 問題」である。

量子色力学には、CP 対称性を破るグルーオン相互作用の大きさを表す QCD シータ角 $\bar{\theta}$ が含まれるが、中性子電気双極子能率の実験から $\bar{\theta} < 10^{-10}$ と厳しく制限されている。この値は標準模型における他の CP 対称性の破れと比較して不自然に小さく、標準模型ではその理由を説明できない。これを強い CP 問題と呼ぶ。

この問題を自然に解決する標準模型の拡張として、離散的対称性を拡張する左右対称模型が提唱されている。しかし、この模型が誘起する QCD シータ角の予言値は、次段落で述べるような場の量子論の計算に整合しておらず、十分な理論精度が確立されていない。本論文では、左右対称模型が誘起する QCD シータ角を精度よく評価することを目的とする。

QCD シータ角は、グルーオン相互作用に加えてクォーク質量の複素位相を含めて初めて観測量となり、その量子補正の影響も考慮する必要がある。従来の計算法では、クォーク質量への補正のみが扱われてきたが、重いクォークの寄与や質量以外からの寄与を十分に取り込めないという問題があった。

本論文では、直接ファインマンダイアグラムを計算することにより、QCD シータ角の理論予言値を導出する新たな計算手法を定式化し、その理論的妥当性を検証した。この手法により、CP 対称性に影響を与える複数の寄与を統一的に扱うことが可能となる。

さらに、この計算法を左右対称模型に応用し、QCD シータ角の理論予言を行った。最低次および次の摂動次数の寄与がいずれも消失することを示し、高次寄与の大きさを見積もった結果、現在の中性子電気双極子能率の実験感度に近い値が得られることを確認した。これに基づき、現行および将来の実験による検証可能性について議論した。

本論文は、左右対称模型における QCD シータ角の量子補正を、場の量子論に整合した直接計算により評価し、理論予言と実験との関係を明確にしたものである。