

別紙 4

報告番号	※	甲	第	号
------	---	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 電気双極子モーメントで探る標準模型を超える物理
氏 名 小林大輝

論 文 内 容 の 要 旨

2012年にLHC実験によってヒッグス粒子の存在が確立され、素粒子標準模型が预言する粒子は全て発見された。標準模型は現在までの実験結果を非常によく説明できる理論であるがゲージ階層性問題を説明できない、暗黒物質の候補がないなど理論的問題や実験、観測的問題が残されており、標準模型を超える物理の存在が示唆されている。

電気双極子モーメントは CP 対称性を破る物理量であり、実験から核子や電子の電気双極子モーメントに対して制限が与えられている。標準模型の预言する電気双極子モーメントは現在計画されている実験の感度に比べて非常に小さいことから、電気双極子モーメントは標準模型を超える物理の CP の破れに対して非常に高い感度のある物理量であるといえる。

本論文ではこの電気双極子モーメントを用いて2つの標準模型を超える物理の研究を行った。1つ目の主題は”電弱相互作用をする暗黒物質の有効理論”についての研究である。数ある暗黒物質の候補の中で有力なものに電弱相互作用をする暗黒物質がある。これは暗黒物質が $SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ のゲージ相互作用を通じてのみ標準模型の粒子と相互作用をするというものである。この研究ではボトムアップの立場を取り、この電弱相互作用をする暗黒物質が高いスケールで実現されている何らかの理論の有効理論であるとし、低エネルギーにこの有効理論をもつ理論について一般的な解析を行った。有効理論を作る仮定として暗黒物質はフェルミオンで標準模型のヒッグス粒子と相互作用をすとした。一般にはそのような相互作用には CP を破る結合定数が含まれるため電気双極子モーメントが生じる。この相互作用はさらにヒッグス粒子の崩壊と暗黒物質の直接検出に対しても寄与を与える。解析の結果、暗黒物質の量子数が変わるとこれら3つの物理量の振る舞いに変化することがわかり、特に $O(100)$ GeVの質量を持つ暗黒物質に対しては将来実験を用いれば標準模型を超える物理のスケールが $O(100)$ TeVまでの領域をほとんど全て調べられ、暗黒物質の量子数を区別できる可能性があることを示した。

2つ目の主題は”高いスケールの超対称模型における核子の電気双極子モーメント”につい

ての研究である。超対称性とはボソンとフェルミオンを入れ替える対称性であり、標準模型に超対称性を導入した模型で最も単純なものは最小超対称標準模型と呼ばれる。この模型には暗黒物質の候補があることや、高いエネルギーでゲージ結合定数が精度良く統一し大統一理論とも相性が良いことなどの魅力的な性質がある。しかし LHC 実験で標準模型を超える物理の兆候がないことやヒッグス粒子の質量を実験結果で得られたものよりも軽く予言してしまうことから最小超対称標準模型は拡張する必要がある。

そこで本論文では最小超対称標準模型の拡張として高いスケールの超対称模型を考える。この模型ではスフェルミオンは 100 TeV 付近の質量を持っており、一方でゲージノは数 TeV 付近の質量を持っている。この質量スペクトルを実現する最も単純な模型はアノマリー媒介機構を用いたものであり、より一般的な模型としてゲージ媒介機構を含む模型も提案されている。

アノマリー媒介機構による最も単純な模型では Barr-Zee ダイアグラムと呼ばれる 2 ループのダイアグラムが電子や核子の電気双極子モーメントに対して主要な寄与となっている。一方でゲージ媒介機構を含んだ拡張された模型ではゲージノの質量に物理的な位相が生じ、さらにゲージノと超対称性の破れを伝えるメッセンジャーとの間の相互作用にも物理的な位相が生じる。これらの位相は新たな CP の破れの源となり、グルイーノのカラー電気双極子モーメントを生じ、核子の電気双極子モーメントに対して新たな寄与となる。

そのためこの研究ではこの拡張された高いスケールの超対称模型において、核子の電気双極子モーメントに対するグルイーノの寄与の詳細を明らかにした。その結果、この新たな寄与が最も単純な模型でも存在する Barr-Zee ダイアグラムの寄与と同程度の寄与になるパラメータ領域があることがわかり、核子の電気双極子モーメントを用いて模型を区別できる可能性を示した。