

Extended GMSB模型によるEDMsの解決とNeutral Higgsの解析

| | |
|-------|---|
| メタデータ | 言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属: |
| URL | http://hdl.handle.net/2297/16720 |

| | |
|-------------|--|
| 氏名 | 土田 博一 |
| 学位の種類 | 博士 (理学) |
| 学位記番号 | 博甲第 698 号 |
| 学位授与の日付 | 平成 17 年 3 月 22 日 |
| 学位授与の要件 | 課程博士 (学位規則第 4 条第 1 項) |
| 学位授与の題目 | Extended GMSB 模型による EDMs の解決と Neutral Higgs の解析 |
| 論文審査委員 (主査) | 末松 大二郎 (自然科学研究科・助教授) |
| 論文審査委員 (副査) | 鈴木 恒雄 (総合メディア基盤センター・教授), 久保 治輔 (自然科学研究科・教授), 青木 健一 (自然科学研究科・教授), 寺尾 治彦 (自然科学研究科・助教授) |

学位論文要旨

CONCISE SUMMARY

We study phenomenological aspects of the soft supersymmetry breaking parameters in a model with the extended gauge mediation supersymmetry breaking. In this model gaugino masses can be non-universal and as its result physical CP-phases remain in the gaugino sector even after the R -transformation. These phases contribute to the electric dipole moment (EDM) of an electron and a neutron. We show that their experimental bounds can be satisfied even for the situation such that there exist the order one CP-phases and the masses of superpartners are of the order of 100 GeV.

本文

標準模型 (SM) はゲージ階層性の問題などを解決するために、その拡張の検討が進められている。代表的拡張の1つとして、SMを超対称化することにより最小限に拡張したモデルである最小超対称標準模型 (MSSM) がよく知られている。しかし、このMSSMにも、フレーバーが変化する中性カレント過程 (FCNC) や電子や中性子の電気双極子能率 (EDM) といった問題が存在する。そのため、MSSMのさらなる拡張が求められている。

これらのMSSMの問題のうち、本研究ではEDMについて取り上げる。電子や中性子のEDMの実験からの制限は、それぞれ

$$\begin{aligned}
 |d_e| &< 0.69 \pm 0.74 \times 10^{-27} \text{ e} \cdot \text{cm}, \\
 |d_n| &< 0.63 \times 10^{-25} \text{ e} \cdot \text{cm} \quad (90\% \text{CL, PDG}'04)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

となっている。これらの制限を満たす超対称性をソフトに (2次発散無しに) 破るパラメータ (soft breaking parameter) の範囲は、スカラー質量 (soft mass) と soft breaking parameter の CP 位相 (CP phase) について

$$\begin{aligned}
 \text{soft mass} &= \mathcal{O}(10^2) \text{ GeV} \quad \text{ならば} \quad \text{CP phase} = \mathcal{O}(10^{-2}), \\
 \text{CP phase} &= \mathcal{O}(1) \quad \text{ならば} \quad \text{soft mass} = \mathcal{O}(1) \text{ TeV},
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

となることが知られている。さらに、より制限が厳しいとされている水銀のEDMに関する実験値

$$|d_{Hg^{199}}| < 2.1 \times 10^{-28} \text{ e} \cdot \text{cm} \quad (3)$$

を加え、これらの実験からの制限すべてを、soft breaking parameter の自然と見なし得る領域で満たすことは困難である。その理由は、それぞれの制限を満たすパラメータ領域が食い違っていることにある。すべてを満たそうとすると、soft mass が $\mathcal{O}(1)$ TeV、もしくは CP phase が $\mathcal{O}(10^{-2})$ であることが必要となる。soft mass が大きくなり過ぎるとゲージ階層性問題に抵触する可能性が出てくるし、逆に CP phase が $\mathcal{O}(1)$ に比べて小さい場合には、その小ささの起源の説明が必要になってくる。以上のことから、一番都合がよさそうな可能性は

$$\text{soft mass} = \mathcal{O}(10^2) \text{ GeV} \quad \text{かつ} \quad \text{CP phase} = \mathcal{O}(1) \quad (4)$$

という範囲に対して、EDM からの制限すべてが満足される場合であると考えられる。ゲージノ質量に物理的な CP phase が存在する場合には、このような可能性が実現され得ることが知られている。しかし、MSSM で、これを実現することは困難である。MSSM では、ゲージノ質量に CP phase を持たせることはできるが、ゲージノ質量が普遍性を持っているために、CP phase の再定義により、物理的に意味のある CP phase としては除去されてしまうからである。

本研究では、ゲージノ質量に物理的に意味を持つ CP phase を持たせることを目標にして、2重項-3重項分離機構 (doublet-triplet splitting) を含み得る SU(5)GUT 模型について、超対称性を破るメカニズムとして、ゲージ相互作用によって媒介される超対称性の破れ (gauge mediation supersymmetry breaking (GMSB)) を導入した模型を考えることにする。この模型では、SU(3)、SU(2) の基本表現である2つのメッセンジャー場が超対称性を破るセクター (hidden sector) の異なるの1重項カイラル超場と相互作用し、その効果を MSSM セクターに伝えることで、MSSM セクターでの超対称性の破れが実現する。メッセンジャー場が超対称性の破れを伝えるのは通常の GMSB 模型と同じであるが、普通の GMSB 模型とは異なり、この模型では MSSM セクターのゲージノにそれぞれ独立な質量をもたらすことが可能となる。このため、ゲージノ質量に CP phase を持たせた場合、CP phase の再定義後においても物理的な CP phase がゲージノ質量に残り得る。この性質のため、この模型においては、電子や中性子の EDM へのチャージノループからの寄与とニュートラリーノループからの寄与の相殺が、ゲージノ質量の CP phase を適切な範囲に設定することで可能となる。その結果として、(4) 式に示されたパラメータの範囲で、電子、中性子および水銀の EDM についての実験からの制限すべてが同時に満足され得ることが示された。

学位論文審査結果の要旨

本学位論文について、各委員による事前審査に基づき必要な加筆修正を求め、その後平成17年2月4日に口頭発表を行い、引続き行われた審査会における協議の結果、以下のように判定した。

実験的に高い精度で検証されている素粒子標準模型は理論的には不満足なものと考えられ、超対称性による拡張が精力的に研究されている。超対称性による拡張は新たな粒子の導入をもたらし、様々な現象に影響を与える。電子や中性子等の電気双極子能率 (EDM) への影響はその代表例である。本論文では、超対称性の破れがゲージ相互作用によって媒介されるとする従来研究されて来た模型を、ゲージノ質量が CP 位相を持つ様に拡張した上で、電子、中性子及び水銀原子の EDM を理論的に評価し、実験結果と比較することにより模型に対する制限を詳細に調べている。解析においては、通常の EDM の研究では考慮されることの少ない他の様々な現象論的制限にも配慮がなされている。

解析結果として、超対称性を破るパラメータが $O(100)$ GeV でかつ $O(1)$ の CP 位相を持つ場合は EDM の実験結果に抵触するという従来の理解に対して、同様の条件下においてもゲージノ質量に CP 位相が存在する場合には、実験結果と矛盾することのないパラメータ領域が存在し得ることが示されている。また、 $O(1)$ の CP 位相が存在する場合、ヒッグス粒子の質量やゲージ粒子との結合が大きく影響されることも示している。これらの指摘は、電弱相互作用に基づくバリオン数生成を考える上で重要となり得るものである。

以上により、本論文の内容は博士論文に値するものと判定する。