

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：12601
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2011～2014
課題番号：23740172
研究課題名(和文) LHC実験による宇宙再加熱過程の解明

研究課題名(英文) Study of reheating processes at the LHC

研究代表者

遠藤 基 (Endo, Motoi)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：70568170

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではLHC実験における宇宙再加熱過程の解明を目的としてきた。特に、素粒子標準理論を超える新しい物理が宇宙再加熱過程と関係していることに注目した。本研究の研究期間においてLHC実験により素粒子標準理論が確立したが、一方で新粒子探索では新しい物理のシグナルは全く見つかっていない。本研究では、特に超対称標準模型や素粒子標準理論粒子と暗黒物質の相互作用について研究を行った。これらの模型がLHC実験の結果を総合することでどのように制限され、将来の実験でどのようなシグナルが期待されるか明らかにした。将来にシグナルが発見された場合に、本研究が宇宙初期のシナリオを明らかにする上で重要になると期待される。

研究成果の概要(英文)：We have aimed for revealing reheating processes of the universe with help of the LHC. The reheating processes are closely related with physics beyond the standard model. Recently, the standard model has been established by the LHC, but no signals of new physics have been observed. We studied supersymmetric models and models with dark matters which interact with the standard model particles. We have studied the constraints on these models from the LHC results and discussed what kind of signals are expected to be discovered in future experiments including the LHC. When new physics signals would be observed in future, we expect that the studies in this project could play an important role to reveal the scenario of the early universe.

研究分野：素粒子論

キーワード：素粒子論

1. 研究開始当初の背景

宇宙の温度が最も高い時期、すなわち宇宙再加熱期はその後の宇宙の熱史を特徴づけている。宇宙再加熱過程は TeV スケールの物理と関連があると考えられる。そのため、LHC 実験において素粒子標準理論を超える新しい物理を研究することで、初期宇宙の情報が見られると期待される。

2. 研究の目的

LHC 実験のデータを元に初期宇宙のシナリオを研究する。特に、LHC 実験において素粒子標準理論を超える新しい物理の持つ性質を明らかにすることで宇宙再加熱過程を解明する。

3. 研究の方法

宇宙再加熱期はその後の宇宙の熱史を特徴づけている。そのため、現在の宇宙を説明するためには満たすべき条件がある。特に、ここでは寿命が長い(準)安定粒子に注目する。(準)安定粒子が生成されるとその後の宇宙の発展に影響を及ぼす。それらは宇宙再加熱期に生成されると考えられるが、その詳細は素粒子標準理論を超える新しい物理に依存する。

TeV スケールの新しい物理は LHC 実験で検出されると期待される。特に、(準)安定粒子は LHC 実験で特徴的なシグナルを出すと考えられている。そのような新しい物理にはいろいろな可能性があるが、新しい物理として有望視されている超対称標準模型に注目する。どの粒子が(準)安定となるかは超対称標準模型の質量スペクトルに依存する。そのため、LHC 実験のデータやこれまでの実験で見られているアノマリーに注目することで、超対称標準模型の質量スペクトルを最初に決定する。そして、その結果に従い初期宇宙のシナリオを研究する。

一方で、LHC 実験において何も見つからない場合には、超対称標準模型以外の可能性を模索する。特に宇宙暗黒物質に注目する。暗黒物質は宇宙初期に生成される安定粒子である。宇宙暗黒物質を熱プラズマから生成するためには素粒子標準理論の粒子との相互作用が必要である。そのため、宇宙暗黒物質は LHC 実験を含む将来の加速器実験において直接生成・発見される可能性がある。よって、将来実験において宇宙暗黒物質の性質がどれくらい解明されるか明らかにすることで、初期宇宙のシナリオを研究する。

4. 研究成果

本研究期間に LHC 実験でヒッグス粒子が発見された。後述するように、この結果は本研究にとって重要な意味を持つ。また、LHC 実験において素粒子標準理論では説明することのできない新しい物理のシグナルを探しているが未だ見つかっていない。本研究では新しい物理の発見・解明が不可欠であるため、

LHC 実験の結果に応じて研究を柔軟に推移させた。

まず超対称標準模型に関する研究を行った。発見されたヒッグス粒子の質量は超対称粒子が比較的重いことを示唆している。一方で、ミューオン異常磁気能率の実験結果が素粒子標準理論の予言値からずれていることが知られている。この結果は超対称標準模型により自然に説明することができるが、そのためには超対称粒子が軽くなければいけない。本研究では、これらの実験結果を総合することで、超対称粒子の質量スペクトルがどれくらい LHC 実験により制限されていて、さらに将来どこまで超対称粒子の性質が決定されるかを明らかにした。また、ヒッグス粒子の質量とミューオン異常磁気能率の測定値の両方を同時に説明することのできる模型を提唱した。特に、その中のあるパラメータ領域ではスタウと呼ばれる荷電スカラー粒子が宇宙再加熱期やその後の宇宙の熱史と矛盾する性質を持つことを示した。

また、超対称標準模型はグラビティーノと呼ばれる(準)安定粒子を一般的に予言する。宇宙初期におけるグラビティーノの生成は宇宙の熱史に強い影響を及ぼす。本研究では、グラビティーノの非熱的生成過程に関する一般的な公式を導いた。この結果を既知の熱的生成過程の結果と組み合わせることで、宇宙再加熱期のシナリオの構築を行った。

最後に、超対称標準模型以外の可能性として宇宙暗黒物質に関する研究を行った。LHC 実験では新しい物理のシグナルは見つからなかったため、素粒子標準理論と宇宙暗黒物質の相互作用は制限される。特に、本研究ではその相互作用に対する理論的制限を導いた。また、宇宙暗黒物質がヒッグス粒子と相互作用する模型において LHC 実験からの制限を求めた。これらの制限はまだ弱いことが分かったため、宇宙再加熱時における宇宙暗黒物質の生成と必ずしも関係しない。しかし、将来の実験において同様の解析が宇宙暗黒物質の生成過程を解明する上で重要になる可能性がある。

本研究期間に残念ながら新しい物理は発見されなかった。そのため宇宙再加熱過程を特定することはできなかったが、いくつかの代表的なシナリオにおいて制限を求めることができた。将来の実験において新しい物理の兆候が見えた場合に、本研究を発展させていくことで宇宙再加熱過程の解明につながると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 16 件)

① M.Endo and Y.Takaesu, Heavy WIMP through Higgs portal at the LHC, Physics

Letters B743 (2015) 228, 查読有,
DOI:10.1016/j.physletb.2015.02.042

② M.Endo, K.Hamaguchi, K.Ishikawa and M.Stoll, Reconstruction of Vector-like Top Partner from Fully Hadronic Final States, Physical Review D90 (2014) 055027, 查読有, DOI:10.1103/PhysRevD.90.055027

③ M.Endo and Y.Yamamoto, Unitarity Bounds on Dark Matter Effective Interactions at LHC, Journal of High Energy Physics 1406 (2014) 126, 查読有,
DOI:10.1007/JHEP06(2014)126

④ M.Endo, T.Kitahara and T.Yoshinaga, Future Prospects for Stau in Higgs Coupling to Di-photon, Journal of High Energy Physics 1404 (2014) 139, 查読有,
DOI:10.1007/JHEP04(2014)139

⑤ M.Endo, K.Hamaguchi, S.Iwamoto, T.Kitahara and T.Moroi, Reconstructing Supersymmetric Contribution to Muon Anomalous Magnetic Dipole Moment at ILC, Physics Letters B728 (2014) 274, 查読有,
DOI:10.1016/j.physletb.2013.11.068

⑥ M.Endo, K.Hamaguchi, T.Kitahara and T.Yoshinaga, Probing Bino contribution to muon $g - 2$, Journal of High Energy Physics 1311 (2013) 013, 查読有,
DOI:10.1007/JHEP11(2013)013

⑦ M.Endo, K.Hamaguchi, S.Iwamoto and T.Yoshinaga, Muon $g-2$ vs LHC in Supersymmetric Models, Journal of High Energy Physics 1401 (2014) 123, 查読有,
DOI:10.1007/JHEP01(2014)123

⑧ M.Endo, K.Hamaguchi, S.P.Liew, K.Mukaida and K.Nakayama, Axino dark matter with R-parity violation and 130GeV gamma-ray line, Physics Letters B721 (2013) 111, 查読有,
DOI:10.1016/j.physletb.2013.03.008

⑨ M.Endo, K.Hamaguchi, K.Ishikawa, S.Iwamoto and N.Yokozaki, Gauge Mediation Models with Vectorlike Matters at the LHC, Journal of High Energy Physics 1301 (2013) 181, 查読有,
DOI:10.1007/JHEP01(2013)181

⑩ M.Endo, K.Hamaguchi and G.Mishima, Constraints on Hidden Photon Models from Electron $g-2$ and Hydrogen Spectroscopy, Physical Review D86 (2012) 095029, 查読有,
DOI:10.1103/PhysRevD.86.095029

⑪ M.Endo, K.Hamaguchi and T.Terada, Scalar Decay into Gravitinos in the Presence of D-term SUSY Breaking, Physical Review D86 (2012) 083543, 查読有,
DOI:10.1103/PhysRevD.86.083543

⑫ M.Endo and S.Iwamoto, Comment on the CMS search for charge-asymmetric production of W' boson in $t\bar{t} + \text{jet}$ events, Physics Letters B718 (2013) 1070, 查読有,
DOI:10.1016/j.physletb.2012.12.011

⑬ M.Endo and T.Yoshinaga, Mass Insertion Formula for Chargino Contribution to $\Delta a_\mu = 1$ Wilson Coefficients and its Application to CP Asymmetries of B to K π , Progress of Theoretical Physics 128 (2012) 1251, 查読有,
DOI:10.1143/PTP.128.1251

⑭ M.Endo, K.Hamaguchi, S.Iwamoto and N.Yokozaki, Vacuum Stability Bound on Extended GMSB Models, Journal of High Energy Physics 1206 (2012) 060, 查読有,
DOI:10.1007/JHEP06(2012)060

⑮ M.Endo, K.Hamaguchi, S.Iwamoto, K.Nakayama and N.Yokozaki, Higgs mass and muon anomalous magnetic moment in the U(1) extended MSSM, Physical Review D85 (2012) 095006, 查読有,
DOI:10.1103/PhysRevD.85.095006

⑯ M.Endo, K.Hamaguchi, S.Iwamoto and N.Yokozaki, Higgs mass, muon $g-2$, and LHC

prospects in gauge mediation models with vector-like matters, Physical Review D85 (2012) 095012, 査読有,
DOI:10.1103/PhysRevD.85.095012

〔学会発表〕(計8件)

- ① 遠藤基, Muon g-2 in BSM models, Flavors of New Physics (招待講演), 2015年3月10日, 高エネルギー研究所 東海キャンパス (茨城県・東海村)
- ② 遠藤基, Overview of New Physics Theories, ATLAS-Belle II研究会 (招待講演), 2014年11月25日, 東京大学 (東京都・文京区)
- ③ 遠藤基, Reconstructing SUSY Contribution to Muon g-2 at ILC, International Workshop on Future Linear Collider, 2013年11月11日-2013年11月15日, 東京大学 (東京都・文京区)
- ④ 遠藤基, Probing SUSY Contributions to Muon g-2 at LHC and ILC, Particle Physics and Cosmology after the Discovery of Higgs Boson (招待講演), 2013年10月21日-2013年10月25日, 東北大学 (宮城県・仙台市)
- ⑤ 遠藤基, Flavor vs Dark Matter, Workshop on Particle Physics of the Dark Universe (招待講演), 2013年4月4日, 東京大学 (東京都・文京区)
- ⑥ 遠藤基, Higgs Mass and Muon g-2 in SUSY Models, 素粒子物理学の進展2012 (招待講演), 2012年7月18日-2012年07月21日, 京都大学 基礎物理学研究所 (京都府・京都市)
- ⑦ 遠藤基, 素粒子と暗黒宇宙を結ぶ新しい物理, Workshop on Particle Physics of the Dark Universe (招待講演), 2012年3月2日, 東京大学 柏キャンパス (千葉県・柏市)
- ⑧ 遠藤基, GMSB extensions in light of recent Higgs searches, 冬の富山素粒子宇宙研究会 (招待講演), 2012年2月21日, 富山大学 (富山県・富山市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

遠藤 基 (Endo, Motoi)

東京大学・理学系研究科・助教

研究者番号：70568170