

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 6日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21740164

研究課題名（和文）

標準模型を超えた物理における準安定荷電粒子とその初期宇宙論・LHC 現象論

研究課題名（英文）

Metastable charged particles in physics beyond the Standard Model, and their cosmology and LHC phenomenology.

研究代表者 濱口 幸一 (Koichi Hamaguchi)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号：80431899

研究成果の概要（和文）：標準模型を超えた物理では、準安定な荷電粒子が予言されることがある。そのような粒子は LHC 実験などの加速器実験で生成されると期待される。LHC 検出器内で止まった準安定荷電粒子の崩壊を測ることが可能であり、その寿命や質量などが測れることを示した (Phys. Rev. Lett. 103 (2009) 141803.)。その他、準安定荷電粒子の初期宇宙論・LHC 現象論に関するいくつかの研究を行った。

研究成果の概要（英文）：We have worked on cosmology and LHC phenomenology of metastable charged particles. For instance, we discussed the prospects for studying the stopping and decaying events of such metastable charged particles at the LHC detectors, and showed that the lifetime measurement (and the study of decay products) is possible with the LHC detectors for a wide range of the lifetime $0(0.1 \text{ sec} - 100 \text{ years})$, by using periods of no proton-proton collision.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子、原子核、宇宙線、宇宙物理

キーワード：素粒子（理論）

1. 研究開始当初の背景

【素粒子模型】様々な標準模型を超える素粒子模型で準安定荷電粒子の存在が予言されている。(有力候補として、グラビティーノを LSP に持つ超対称標準模型。)

【初期宇宙】ビッグバン元素合成における ${}^7\text{Li}$ 問題の解として、 $0(1000 \text{ 秒})$ の寿命を持った準安定荷電粒子がビッグバン元素合成において重要な役割を果たした可能性が示唆されている。

【LHC 現象論】LHC における準安定粒子の現象論は以前から研究されているが、寿命の測定や崩壊モードの解析に関する研究はまだほとんどない。

2. 研究の目的

本研究の大きな目標は、準安定荷電粒子の初期宇宙論および LHC 現象論を切り口として、標準模型を超えた物理を探索する事である。目的は大きく分けて3つある。

(1) 準安定荷電粒子を用いた 7Li 問題の解決を含む 無矛盾な素粒子模型+初期宇宙シナリオを構築する。

(2) 準安定荷電粒子が存在する時の LHC 現象論の研究。特に、LHC における準安定荷電粒子の寿命測定/崩壊モード解析の手法を提案する。また数値シミュレーションによって LHC で寿命や崩壊モードがどこまで検証出来るかを明らかにしておく。

(3) 研究期間中に LHC の初期の結果が出たら、準安定荷電粒子の証拠の有無に応じて、上の2つにフィードバックすると共に、実験結果に基づいた素粒子模型・初期宇宙シナリオの構築を進める

3. 研究の方法

(1) 超対称性模型などに基づく、7Li 問題の解決を含む 無矛盾な素粒子模型+初期宇宙シナリオを構築する。特に暗黒物質の残存量や 7Li 以外の軽元素(DやHe)の量に関する制限に留意する。

(2) これまでは検出器の外に新たな「ストッパー検出器」を置き、高速の準安定荷電粒子をいったん止めて、その崩壊を調べる事が考えられてきたが、LHC の検出器そのもので準安定荷電粒子の寿命/崩壊モードを調べる可能性を探る。

4. 研究成果

(1) 準安定荷電粒子と初期宇宙論

超対称性理論における長寿命スタウ粒子の LHC シグナルと宇宙の再加熱温度との相関について解析し(一定の仮定の下)再加熱温度が 1 億 GeV よりも高い場合には初期の LHC データで長寿命スタウのシグナルが見える事を示した [JHEP 1011 (2010) 004]。

(2) 準安定荷電粒子の LHC 現象論

論文 [Phys.Lett.B588 (2004) 90-98] において超対称性理論における長寿命スタウ粒子を用いてプランクスケールが測定出来る事を指摘して以来、準安定荷電粒子を LHC で捉える可能性を探ってきた。本研究事業の前の論文 [Phys.Rev.D70 (2004) 115007] と [JHEP0703 (2007) 046] においては検出器の外に新たな「ストッパー検出器」を置き、高速の準安定荷電粒子をいったん止めてからその崩壊を調べる事を考えてきた。しかしその後も、LHC が動き始めた以上 LHC の検出器そのもので準安定荷電粒子の寿命/崩壊モードを調べる可能性を探る事が極めて重要であると考えていた。本研究事業の研究成果の 1 つとして、論文 [Phys.Rev.Lett.103 (2009) 141803] がある。この論文では、低速で生成されて検出器内で停止した準安定荷電粒子の崩壊を検出する全く新しい方法を提案し、具体的な超対称性模型を例に解析を行い、非常に広範囲の準安定荷電粒子の寿

命(0.1 秒~100 年)を測定し得ることを示した。

また、準安定荷電粒子の崩壊長が 1m 程度で検出器内を飛んでいる途中で崩壊する場合の解析を行い、R-parity が破れた模型やゲージ伝達模型などの素粒子模型について初期の LHC データで探索出来る事を示した [JHEP1112 (2011)041]。

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 22 件)

全て査読有り。

1) Axino dark matter with R-parity violation and 130 GeV gamma-ray line
By Motoi Endo, Koichi Hamaguchi, Seng Pei Liew, Kyohei Mukaida, Kazunori Nakayama.
arXiv:1301.7536 [hep-ph].

10.1016/j.physletb.2013.03.008.

Phys.Lett. B721 (2013) 111-117.

2) Gauge Mediation Models with Vectorlike Matters at the LHC

By Motoi Endo, Koichi Hamaguchi, Kazuya Ishikawa, Sho Iwamoto, Norimi Yokozaki.
arXiv:1212.3935 [hep-ph].

10.1007/JHEP01(2013)181.

JHEP 1301 (2013) 181.

3) Constraints on Hidden Photon Models from Electron g-2 and Hydrogen Spectroscopy

By Motoi Endo, Koichi Hamaguchi, Go Mishima.

arXiv:1209.2558 [hep-ph].

10.1103/PhysRevD.86.095029.

Phys.Rev. D86 (2012) 095029.

4) Scalar Decay into Gravitinos in the Presence of D-term SUSY Breaking

By Motoi Endo, Koichi Hamaguchi, Takahiro Terada.

arXiv:1208.4432 [hep-ph].

10.1103/PhysRevD.86.083543.

Phys.Rev. D86 (2012) 083543.

5) Vacuum Stability Bound on Extended GMSB Models

By Motoi Endo, Koichi Hamaguchi, Sho Iwamoto, Norimi Yokozaki.

arXiv:1202.2751 [hep-ph].

10.1007/JHEP06(2012)060.

JHEP 1206 (2012) 060.

- 6) Higgs mass and muon anomalous magnetic moment in the U(1) extended MSSM
By Motoi Endo, Koichi Hamaguchi, Sho Iwamoto, Kazunori Nakayama, Norimi Yokozaki.
arXiv:1112.6412 [hep-ph].
10.1103/PhysRevD.85.095006.
Phys.Rev. D85 (2012) 095006.
- 7) Higgs mass, muon $g-2$, and LHC prospects in gauge mediation models with vector-like matters
By Motoi Endo, Koichi Hamaguchi, Sho Iwamoto, Norimi Yokozaki.
arXiv:1112.5653 [hep-ph].
10.1103/PhysRevD.85.095012.
Phys.Rev. D85 (2012) 095012.
- 8) Boltzmann equation for non-equilibrium particles and its application to non-thermal dark matter production
By Koichi Hamaguchi, Takeo Moroi, Kyohei Mukaida.
arXiv:1111.4594 [hep-ph].
10.1007/JHEP01(2012)083.
JHEP 1201 (2012) 083.
- 9) A Solution to the $\mu/B\mu$ Problem in Gauge Mediation with Hidden Gauge Symmetry
By Koichi Hamaguchi, Kazunori Nakayama, Norimi Yokozaki.
arXiv:1111.1601 [hep-ph].
10.1007/JHEP08(2012)006.
JHEP 1208 (2012) 006.
- 10) NMSSM in gauge-mediated SUSY breaking without domain wall problem
By Koichi Hamaguchi, Kazunori Nakayama, Norimi Yokozaki.
arXiv:1107.4760 [hep-ph].
10.1016/j.physletb.2012.01.027.
Phys.Lett. B708 (2012) 100-106.
- 11) Soft leptogenesis and gravitino dark matter in gauge mediation
By Koichi Hamaguchi, N. Yokozaki.
10.1142/S0218271811019700.
Int. J. Mod. Phys. D20 (2011) 1533-1538.
- 12) Higgs Mass and Muon Anomalous Magnetic Moment in Supersymmetric Models with Vector-Like Matters
By Motoi Endo, Koichi Hamaguchi, Sho Iwamoto, Norimi Yokozaki.
arXiv:1108.3071 [hep-ph].
10.1103/PhysRevD.84.075017.
Phys.Rev. D84 (2011) 075017.
- 13) Stau Kinks at the LHC
By Shoji Asai, Yuya Azuma, Motoi Endo, Koichi Hamaguchi, Sho Iwamoto.
arXiv:1103.1881 [hep-ph].
10.1007/JHEP12(2011)041.
JHEP 1112 (2011) 041.
- 14) Soft Leptogenesis and Gravitino Dark Matter in Gauge Mediation
By Koichi Hamaguchi, Norimi Yokozaki.
arXiv:1007.3323 [hep-ph].
10.1016/j.physletb.2010.10.031.
Phys.Lett. B694 (2011) 398-401.
- 15) Probing High Reheating Temperature Scenarios at the LHC with Long-Lived Staus
By Motoi Endo, Koichi Hamaguchi, Kouhei Nakaji.
arXiv:1008.2307 [hep-ph].
10.1007/JHEP11(2010)004.
JHEP 1011 (2010) 004.
- 16) Low-Scale Gauge Mediation and Composite Messenger Dark Matter
By Koichi Hamaguchi, Eita Nakamura, Satoshi Shirai, Tsutomu T. Yanagida.
arXiv:0912.1683 [hep-ph].
10.1007/JHEP04(2010)119.
JHEP 1004 (2010) 119.
- 17) Lepton Flavor Violation and Cosmological Constraints on R-parity Violation
By Motoi Endo, Koichi Hamaguchi, Sho Iwamoto.
arXiv:0912.0585 [hep-ph].
10.1088/1475-7516/2010/02/032.
JCAP 1002 (2010) 032.
- 18) Non-thermal Gravitino Dark Matter in Gauge Mediation
By Koichi Hamaguchi, Ryuichiro Kitano, Fuminobu Takahashi.
arXiv:0908.0115 [hep-ph].
10.1088/1126-6708/2009/09/127.
JHEP 0909 (2009) 127.
- 19) Inverse Problem of Cosmic-Ray Electron/Positron from Dark Matter
By Koichi Hamaguchi, Kouhei Nakaji, Eita Nakamura.
arXiv:0905.1574 [hep-ph].
10.1016/j.physletb.2009.08.044.
Phys.Lett. B680 (2009) 172-178.
- 20) Measuring lifetimes of long-lived

charged massive particles stopped in LHC detectors

By Shoji Asai, Koichi Hamaguchi, Satoshi Shirai.

arXiv:0902.3754 [hep-ph].

10.1103/PhysRevLett.103.141803.

Phys.Rev.Lett. 103 (2009) 141803.

21) Decaying gravitino dark matter and an upper bound on the gluino mass

By Koichi Hamaguchi, Fuminobu Takahashi, T.T. Yanagida.

arXiv:0901.2168 [hep-ph].

10.1016/j.physletb.2009.04.070.

Phys.Lett. B677 (2009) 59-61.

22) Dark Matter Model Selection and the ATIC/PPB-BETS anomaly

By Chuan-Ren Chen, Koichi Hamaguchi, Mihoko M. Nojiri, Fuminobu Takahashi, Shoji Torii.

arXiv:0812.4200 [astro-ph].

10.1088/1475-7516/2009/05/015.

JCAP 0905 (2009) 015.

[学会発表] (計7件)

(1) 浜口幸一、“Axino dark matter with R-parity violation and 130 GeV gamma-ray line” KEK-PH 2013、高エネルギー加速器研究機構、2013年3月4日。

(2) 浜口幸一、“Leptogenesis”、第6回 Fundamental Physics Using Atoms 2012、2012年9月28日、東北大学。

(3) 浜口幸一、“Boltzmann equation for non-equilibrium particles and its application to non-thermal dark matter production”、2012年冬の富山、素粒子宇宙論研究会、2012年2月20日、富山大学。

(4) 浜口幸一、“LHC and Supersymmetry” 基研研究会「場の理論と弦理論」基礎物理学研究所、2011年7月25日、京都大学。

(5) 浜口幸一 “ Probing reheating temperature at the LHC with long-lived staus. ” , Non-Thermal Cosmological Histories of the Universe Workshop, 2010年10月20日, University of Michigan.

(6) 浜口幸一、“Probing Reheating Temperature at the LHC with Long-Lived Staus” , COSMO/CosPA2010, 2010年10月1日、東京大学。

(7) 浜口幸一、“Long-lived signature” 実験理論共同研究会「LHC か切り拓く新しい物理」、東京大学、2009年4月3日

[その他]

アウトリーチ

(1) 浜口幸一、「宇宙誕生はじめての1秒間の謎に迫る素粒子の世界」三省堂サイエンスカフェ、2013年1月9日、東京。

(2) 浜口幸一、「素粒子物理の謎、宇宙誕生はじめての1秒間の謎」、朝日カルチャーセンター 朝日 JTB・交流文化塾「素粒子物理学の最前線、LHC から超弦理論まで」。2012年1月14日、東京。

(3) 浜口幸一、「宇宙誕生はじめての1秒間の謎」、第2回数理の翼冬季セミナー、東京大学、2010年1月4日。

(4) 浜口幸一、「宇宙誕生はじめての1秒間の謎ー対称性とその破れー」、理学部オープンキャンパス、東京大学、2009年8月6日。

(5) 浜口幸一、「宇宙誕生はじめての1秒間の謎ー対称性とその破れー」、理学部公開講演会「理学の最高峰」、東京大学、2009年4月26日。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

濱口 幸一 (HAMAGUCHI KOICHI)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号：80431899

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：