

平成 29 年 4 月 24 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K17653

研究課題名(和文) ATLAS検出器を用いた長寿命グルイーノの探索

研究課題名(英文) Search for long-lived gluino with the ATLAS detector

研究代表者

音野 瑛俊(Otono, Hidetoshi)

九州大学・先端素粒子物理研究センター・助教

研究者番号：20648034

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：2015年、LHCは重心系エネルギー13 TeVでの運転を開始した。本研究は125 GeVのHiggs粒子を超対称性理論に組み込むと存在が予言される長寿命グルイーノに着目した。申請者はATLAS実験において長寿命グルイーノの探索に主要な役割を果たすSemiConductor Trackerの運転に注力し、2015～2016年の円滑なデータ取得を実現した。そして特殊な解析アルゴリズムを開発し、長寿命グルイーノ探索を完了させた。新粒子の発見には至らなかったが、寿命が0.01 nsから10 nsの範囲において2000 GeVを超える質量領域まで長寿命グルイーノの存在を棄却した。

研究成果の概要(英文)：The LHC restarted operation in 2015 at a new centre-of-mass energy of 13 TeV. A target of this research is to discover long-lived gluinos with the ATLAS detector, which are predicted from the Supersymmetric Standard Model incorporating the Higgs boson with a mass of 125 GeV. The SemiConductor Tracker plays an essential role for this search, then we achieved to exploit the potential in 2015 as well as 2016. We also developed dedicated algorithms for long-lived gluinos. As a result, no events are observed in the signal region, and a gluino mass below approximately 2000 GeV is excluded at 95% confidence level for a lifetime from 0.01 ns to 10 ns.

研究分野：素粒子実験

キーワード：長寿命グルイーノ 半導体検出器

1. 研究開始当初の背景

(1) 欧州原子核研究機構 (CERN) はジュネーブ郊外において全周 27 km の円型トンネルに建設した Large Hadron Collider (LHC) の運転を開始した。LHC では陽子ビームを正面衝突させることによって、これまでにない高エネルギーでの素粒子反応を起こす。ATLAS 実験および CMS 実験は LHC のビーム衝突点に検出器を設置し、未知粒子の探索と測定を通じた真空や時空の構造の解明を主目的としている。

(2) LHC は 2010 年に重心系エネルギー 7 TeV で運転を開始し、2012 年には 8 TeV に増強して約 20 fb^{-1} のデータを蓄積した。このデータを用い ATLAS 実験と CMS 実験は素粒子標準模型の最後の未発見粒子であった Higgs 粒子を発見した。そして 2013 年から 2014 年にかけて LHC をさらに増強し、2015 年に重心系エネルギーを 13 TeV として運転を再開した。2018 年までに 120 fb^{-1} を超えるデータを取得する。

2. 研究の目的

(1) Higgs 粒子の発見によって素粒子標準模型から未発見粒子はなくなったが、天体観測から存在が確実視されるダークマターが説明できないなど課題は多い。素粒子標準模型を内包するような新物理の存在は確実と言える。超対称性理論は、新物理の候補として有力な理論であり、素粒子標準模型の全粒子にスピンの $1/2$ 異なるパートナーを導入する。ここで最軽量の超対称性粒子はダークマターの候補となる。

(2) Higgs 粒子を超対称性理論に組み込むと、ビーム衝突点から離れて崩壊する長寿命グルイーノ(グルーオンの超対称性パートナー)の存在が自然に予言される [A. Arvanitaki, et al., JHEP 02 (2013) 126]。Figure 1 は長寿命グルイーノが ATLAS 検出器の内部飛跡検出器である SemiConductor Tracker (SCT) の直前まで飛行して崩壊した様子を示す。

(3) 従来の物理解析は Higgs 粒子のようにビーム衝突点ですぐさま崩壊する短寿命粒子に最適化している。その一方で、申請者は 2012 年までに取得した 8 TeV でのビーム衝突データを用い、長寿命粒子を狙った特殊な探索を主導してきた [Phys. Rev. D 92, 072004 (2015)]。2015 年から LHC の重心系エネルギーが 13 TeV に向上するため、新たな新粒子が生成できる可能性が飛躍的に高まる。そこで申請者がこれまでに進めてきた長寿命粒子の探索をさらに発展させ、長寿命グルイーノの発見を目指す。

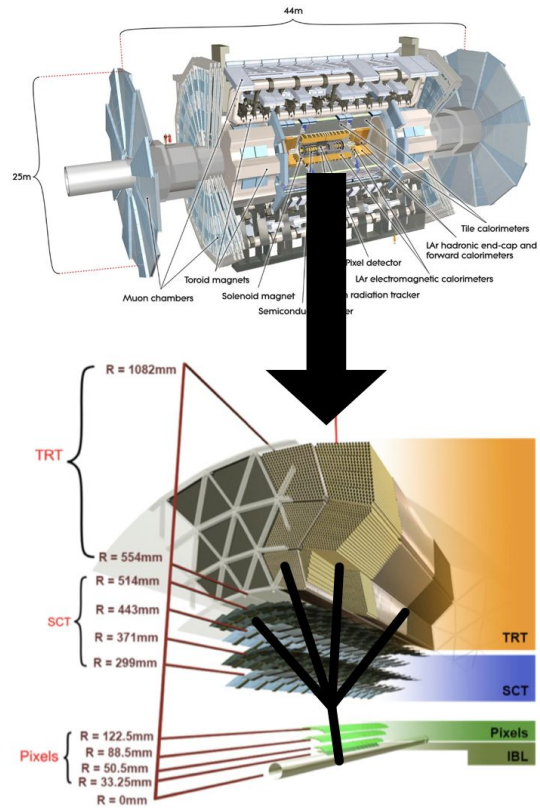


Figure 1 ATLAS 検出器の内部飛跡検出器。ビーム衝突点から Pixel、SCT、TRT を配置している。

3. 研究の方法

(1) 長寿命粒子の探索において、ビーム衝突点から離れた検出器の性能を最大限に引き出すことが、発見感度の向上に直結する。申請者はストリップ型シリコン検出器である SemiConductor Tracker (SCT) の運転に取り組んできた。SCT は 4088 個のセンサーから構成され、600 万本のストリップを持つ。申請者は 2013 年より SCT の取得データの早期解析を責任担当しており、2015 年の LHC の運転開始後は SCT の状況を常時監視することで異常の早期発見と運転への迅速なフィードバックを行う。

(2) 2016 年からは SCT の運転副責任者を務め、データ収集システム、検出器制御システムの責任担当者ら協力して、円滑なデータ取得を実現する。そして 2017 年からは SCT の運転責任者となり、ATLAS 実験の他の検出器との緊密な連携のもとで SCT の高い性能を発揮させる。

(3) 長寿命粒子の探索のためには特別な再構成アルゴリズムが必要となり、Higgs 粒子などを対象とした従来の物理解析では用いることはない。ただし、申請者は既に開発を完了しており、2012 年までのビーム衝突データを用いた解析において実際に使用して

いる。さらに背景事象を見積もる手法も確立させている。そのため、これらを基礎に 13 TeV での探索を推進することができる。

4. 研究成果

(1) LHC が目標としていた単位時間あたりの陽子同士の衝突数(以下では輝度と表記する)は $10 \text{ nb}^{-1}\text{s}^{-1}$ である。2015 年は $5.1 \text{ nb}^{-1}\text{s}^{-1}$ に留まり蓄積した取得データは 4 fb^{-1} であったが、2016 年には $13.7 \text{ nb}^{-1}\text{s}^{-1}$ を達成し、取得データは 33 fb^{-1} に到達した。輝度の向上は SCT の運転に困難を伴ったが、正常に動作するストリップは 98.5%、データ取得効率は 99.95%、物理解析に使用できる割合は 99.9%、検出効率は 98.5%と安定した性能を発揮させた。

(2) 2016 年に取得した 33 fb^{-1} のデータを用い、長寿命グルイーノの探索を完了した。残念ながら新粒子の発見には至らなかったが、寿命が 0.01 ns から 10 ns の広い範囲(3 mm から 3 m の飛程)において 2000 GeV を超える質量領域まで長寿命グルイーノの存在を棄却した。この結果は 2017 年 3 月イタリアで開催された Rencontres de Moriond QCD において公表した [ATLAS-CONF-2017-026]。申請者が素粒子理論の研究者らと執筆した 2 本の論文 [Phys. Lett. B748, 24 (2015), JHEP 1510 (2015) 086] で提案した新たな手法も解析に取り入れることで、探索領域を大きく広げること成功している。

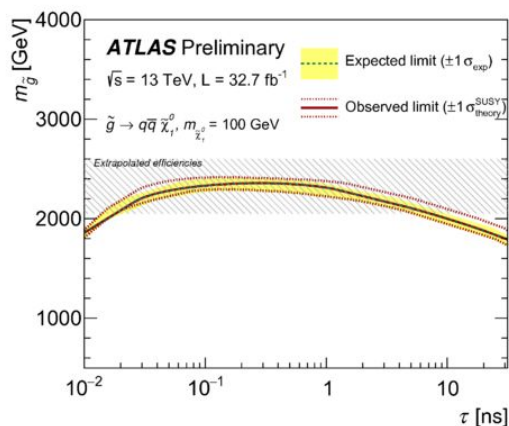


Figure 2 長寿命グルイーノの探索結果。最軽量の超対称性粒子の質量を 100 GeV と仮定している。

(3) LHC の輝度は 2018 年にかけて $17 \text{ nb}^{-1}\text{s}^{-1}$ まで増強を予定している。そして、SCT の運転が終了する 2022 年には $22 \text{ nb}^{-1}\text{s}^{-1}$ に到達する見込みとなった。そこで申請者は LHC の輝度に応じた SCT の新しい運転方式を新たに提案した。LHC の輝度

が高くなると個別のセンサーから読み出しエレクトロニクスまでのデータ転送が間に合わず、不感時間が増えてしまう。そこで、ビーム衝突開始直後の高輝度時にはセンサーの一部からの読み出しを止め、輝度が低くなるにつれて徐々に再開することを着想した。輝度に合わせて運転状況を動的に変化させた例はこれまでに無いため、データ収集システムおよびデータ解析に必要な変更点を検討してきたが、原理的な困難は無い。現在、既に複数のセンサーについて手動で読み出しを止め、再開することに成功している。

(4) 本研究で推進した長寿命粒子の探索をさらに発展させる提案について素粒子理論の研究者らと 3 本の論文にまとめた。1 本は既に掲載済み [JHEP 1703 (2017) 025]、2 本は現在査読中である [arXiv:1702.08613, arXiv:1703.09675]。これらの探索提案は 2018 年までに取得する 120 fb^{-1} を超えるデータを用いて解析を遂行し、新粒子の発見を目指す。

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 6 件)

N. Nagata, H. Otono, S. Shirai, “Cornering Compressed Gluino at the LHC”, JHEP 1703 (2017) 025, 査読有, DOI:10.1007/JHEP03(2017)025

H. Otono on behalf of the ATLAS collaboration, “Searches for New Physics in Unconventional Signature at the LHC”, Proceedings of the 51st Rencontres de Moriond on QCD and High Energy Interactions, 2016, 査読有, http://moriond.in2p3.fr/Proceedings/2016/Moriond_QCD_2016.pdf

H. Otono, “New probes for bino dark matter with coannihilation at the LHC”, PoS(EPS-HEP2015)182, 査読有, https://pos.sissa.it/archive/conferences/234/182/EPS-HEP2015_182.pdf

N. Nagata, H. Otono, S. Shirai, “ Probing Bino-Wino Coannihilation at the LHC ”, JHEP 1510 (2015) 086, 査読有, DOI:10.1007/JHEP10(2015)086

N. Nagata, H. Otono, S. Shirai, “ Probing Bino-Gluino Coannihilation at the LHC ”, Phys. Lett. B748, 24 (2015), 査読有, DOI:10.1016/j.physletb.2015.06.044

H. Otono, et al. (ATLAS Collaboration), “Search for massive, long-lived particles

using multitrack displaced vertices or displaced lepton pairs in pp collisions at $s = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D 92, 072004 (2015), 査読有, DOI:10.1103/PhysRevD.92.072004

〔学会発表〕(計4件)

永田夏海、音野瑛俊、白井智、“LHCにおけるSUSYダークマターの新しい探索提案”、日本物理学会2016年秋期大会、2016年9月24日、宮崎大学(宮崎県)

H. Otono, et al. (ATLAS Collaboration)
“Searches for New Physics in Unconventional Signatures at ATLAS”, 51st Rencontres de Moriond on QCD and High Energy Interactions, 2016年3月21日, La Thuile (Italy)

音野瑛俊、“LHC/ATLAS 現状”、新学術領域研究会テラスケール2015先端加速器LHCが切り拓くテラスケールの素粒子物理学、2015年12月22日、東京工業大学(東京都)

永田夏海、音野瑛俊、白井智、“LHCにおけるSUSYダークマターの新しい探索提案”、日本物理学会2015年秋期大会、2015年9月27日、大阪市立大学(大阪府)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

音野 瑛俊 (OTONO, Hidetoshi)

九州大学・先端素粒子物理研究センター・
助教

研究者番号：20648034