

論文審査の結果の要旨

氏名 小坂井 千紘

本論文は、LHC ATLAS 実験で記録された重心系エネルギー 13TeV の陽子陽子衝突データ 36.1fb^{-1} の中から、超対称性理論の有力なシナリオのひとつで予言される長寿命チャージーノを探索するものである。2 番目に軽い超対称性粒子がチャージーノで、1 番軽いニュートラリーノとの質量差が π 中間子ひとつ分程度しかない場合、高い質量のグルイーノの崩壊により生成されるチャージーノは 0.2ns 程度の長寿命となり、測定器内に短い飛跡を残し、ニュートラリーノと π 中間子に崩壊すると考えられる。ニュートラリーノと低運動量の π 中間子は測定器で検出されず消失横エネルギー(MET)となる。グルイーノ崩壊から同時に生成されるジェット、MET に加え、短くて消える飛跡 (消失飛跡) がこの反応の特徴であり、これらの情報を基に事象選別を行う。

消失飛跡を見つけ出すために、Run 2 (2015-2017)から導入された 1 層の新たなピクセル検出器(IBL)を活用する。既存の 3 層のピクセル検出器とあわせ全 4 層を使うことで、ピクセル検出器から離れた場所にある半導体トラック (SCT) を使わずにトラックを見つけることができ、たまたま SCT にヒットがあることで再構成してしまうような背景事象を抑制することができる。小坂井氏は、ピクセル検出器のアライメントをした経験を活かし、ピクセル検出器 4 層のみを使った飛跡再構成ツールを用意し、この解析を遂行した。

主な背景事象となるのは、孤立したハドロンやレプトン (ミューオンおよび電子) がピクセル検出器を通り過ぎたところで相互作用・散乱することにより、飛跡を正しく再構成されず消失飛跡となってしまうケースである。消失飛跡以外については信号事象と同等の選択を行ったものを制御サンプルとして用意し、それぞれの背景事象の横方向運動量分布を求める。このとき、ピクセル検出器だけを使ったトラックングでは、分解能が悪くなることを考慮しスメアリングを行う。背景事象の量については、レプトン起因の背景事象については $Z \rightarrow ll$ 崩壊のデータを用い、信号領域に入り込む割合を評価する。ハドロン起因の背景事象については、最終的なフィットにより量を定める。

本論文は 1 2 章からなる。第 1 章は、イントロダクションであり、素粒子実験分野において超対称性粒子の探索が求められる背景、特にチャージーノが長寿命となりピクセル検出器に短い飛跡を残す場合について紹介している。

第 2 章は物理的動機について述べられている。素粒子標準理論とその課題、超対称性、ウィーノ LSP 模型、長寿命チャージーノの生成、崩壊と寿命について記述されている。

第 3 章で LHC 加速器と ATLAS 測定器の解説を行い、第 4 章は使用したデータ及びモンテカルロシミュレーションを紹介している。

第 5 章で再構成される物理量の定義付けを行っている。インナーディテクターを用いたトラックング、バーテックス、カロリメータでのクラスタリング、ジェット再構成、

電子、光子、ミューオンの再構成の方法などを説明し、MET を定義している。

第6章は短い飛跡（トラックレット）を見つけ、フィットするトラックの性能について、ピクセル検出器のデータの様子やアライメント、再構成効率、横方向運動量分解能などを評価している。

第7章は事象選別と解析の方針について説明している。大きなMET、ジェットがあること、レプトンがないこと、そしてトラックレットがあることが主な条件である。

第8章では背景事象の見積もりを行っている。ハドロン、レプトン、フェイクと分類される背景事象のうち、工夫された選別を抜け最終的に多く残るのはハドロンによるものである。

第9章で物理パラメータに制限をつけるための統計的手法、第10章で系統誤差の見積もりを行い、第11章は結果とその解釈。第12章にまとめと結論がなされている。結果は、全て背景事象であると考えられ、探索した信号事象は見られなかった。グルイーノ質量とチャージーノ質量の2次元平面において新たな領域を排除した。例えば、チャージーノの寿命が 0.2ns の場合、先行研究で排除されたよりも少し上のチャージーノ質量領域において、 1650GeV より軽いグルイーノは排除された。

口頭試験の後、審査委員会から指摘のあった、記述の不正確／不十分な点が修正され、論文の結果の正当性が確認された。

なお、本論文は、ATLAS コラボレーション内での共同研究である。先行研究（文献[18]: Shingo Kazama）と比較すると、異なるデータセット、異なる生成過程、異なる手法で行った解析であり、物理の動機は共通するが、解析の内容は全く別のものである。特に、新たに追加されたピクセル検出器（IBL）を活かし短い飛跡の再構成を改善するなど、論文提出者が主体となって解析を行い、結果として新たな領域を排除しており、素粒子物理学の進展に確かな寄与があったと判断する。したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。