

論文審査の結果の要旨

氏名 風間慎吾

本論文は、ATLAS 検出器によって記録された、LHC 加速器での重心系エネルギー 8 TeV の陽子・陽子衝突データにもとづいて、超対称性理論のシナリオのひとつで予言される、ニュートラリーノと質量がほぼ縮退したチャージーノの崩壊を探索した結果について述べたものである。

LHC では、これまでに質量 約 126 GeV をもった Higgs 粒子が発見された一方で、素粒子物理の標準模型を超える理論モデルとして有力な超対称性理論によって予言される「超対称性粒子」は発見されていない。風間氏は、これらの実験事実を自然に説明することが可能な anomaly-mediated SUSY breaking (AMSB) モデルに着目した。AMSB モデルではフェルミオンの超対称性パートナーの質量が 10–100 TeV と非常に重くなる一方で、ゲージ粒子の超対称性パートナーであるチャージーノやニュートラリーノは 1 TeV 以下の質量を持つことが可能である。その場合、最も軽いチャージーノとニュートラリーノの質量は 160 MeV 程度の質量差でほぼ縮退し、チャージーノは 0.2 ns 程度の長い寿命を持つこととなる。もしこのような粒子が ATLAS 検出器内の衝突点で生成されれば、内部飛跡検出器の中でニュートラリーノとほとんど運動量を持たない荷電 π 粒子とに崩壊する。この際、ニュートラリーノは検出器に痕跡を残さず大きなエネルギーを持ち去り、また ATLAS 実験の環境下では運動量の低い π 粒子は再構成が不可能なため、チャージーノの飛跡が検出器内部で突然「消失」したように見える。風間氏は、予想される信号事象のこのきわだった形狀的特徴に着目し、独自の手法を開発して探索を行った。

本論文は 13 章からなる。1 章のイントロダクションの後、2 章では本研究の理論的背景について述べられている。3 章と 4 章では研究に使用した LHC 加速器と ATLAS 検出器、およびデータとモンテカルロシミュレーションについて説明している。特に、本研究での信号の選択効率を高めるために、事象のトポロジーをうまく利用した独自のトリガーを開発し、ATLAS 実験に実装して運用し、以前のトリガーに比べ信号の選択効率を約 2 倍に増やすことに成功したことが特筆される。5 章では、データ解析に用いる事象の再構成について述べられている。ATLAS 実験の標準的な再

構成プログラムでは、本研究の主な探索対象である飛跡検出器中で崩壊するような短い飛跡に対し感度がないことから、独自に特別な再構成法を開発した。これにより、標準的な手法に比べて信号の再構成効率を大幅に（0.2 ns の寿命を持つチャージーノに対し約 100 倍）改善することに成功した。6 章では、開発した飛跡再構成法の性能の確認をデータで行っている。

7 章では予想される信号の特徴をもとに、膨大な背景事象を排除しつつ効率よく信号事象を選択するためにどのような観測量を使うのが適切か議論されている。8 章では事象選択が詳細に説明されている。主に i) ニュートラリーノが検出器外に逃げることによる大きな消失横エネルギーと、始状態で発生する initial state radiation のジェットがほぼ反対方向を向いて存在すること、 ii) 検出器内で「消失」する飛跡の存在、による事象選択を行った結果、3256 事象が残った。9 章では背景事象の主な原因と考えられる、 i) 検出器内でハドロンが反応した場合、 ii) 荷電レプトンの誤認識、 iii) 低い運動量の粒子の飛跡が散乱などにより誤って再構成されたもの、のそれぞれの場合について、詳細な考察と実データを用いた見積もりが述べられている。10 章では系統誤差の見積もりが、11 章では再構成された飛跡の横運動量分布を用いて信号と背景事象を識別し、信号の事象数を見積もる方法と結果が述べられている。結果として、信号が期待される $200\text{GeV}/c$ 以上の領域では予想される背景事象に対して有意な超過が見られなかった。12 章で様々な理論モデルに対する制限を議論し、13 章でまとめを述べている。

本研究の結果、AMSB 模型で予想される、チャージーノとニュートラリーノの質量差が 160 MeV の場合において、95% の信頼度でニュートラリーノの質量に対し 270GeV 以上という制限を得た。これは、過去の結果に比べ 2 倍以上高い質量への制限を与え、標準理論を超えた物理現象の探索に新たな知見を加えるものである。

なお、本論文に述べられている研究で使用した ATLAS 検出器は国際共同研グループにより運営されているものであるが、本研究の最も本質的な部分である独自のトリガーと飛跡再構成法の開発、およびデータ解析についてはすべて論文提出者が主体となって行ったもので、論文提出者の寄与およびオリジナリティが十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。