

論文審査の結果の要旨

氏名 楊易霖

本論文は8章からなる。

第1章では、本論文の導入が述べられている。素粒子物理の標準理論はこれまでの実験結果を矛盾無く説明する一方で、宇宙の暗黒物質、階層性問題など多くの本質的な問題を解決することができない。このため、標準理論を超える新しい物理が存在すると考えられている。新物理の理論モデルとして、標準理論に超対称性を導入して拡張した理論、超対称理論が有力視されている。その中で、トップクォークの超対称パートナーであるスカラートップクォーク(ストップ)は、ヒッグス粒子の質量 125GeV を説明する理論パラメータ条件において、LHC で探索可能な比較的軽い質量を持つ可能性があるため、重要な探索対象として注目されている。本研究では LHC-Run2 の ATLAS 実験における全データ 139fb^{-1} を用いて、現在の質量下限値 (1TeV 程度) 付近の比較的重いストップについて、ストップがトップクォークとニュートラリーノに崩壊し、さらにトップクォークがハドロンへと崩壊するチャンネルの探索が行われた。

第2章では、本研究の理論的な背景についてまとめられている。超対称理論のモデル候補の一つである MSSM におけるストップの特徴について、ハドロンコライダーを用いてどのようなチャンネルを用いて探索するかに焦点をあてて述べられている。

第3章では、LHC 加速器・ATLAS 実験装置の概要が述べられている。

第4章では、本研究で使用した LHC-Run2 の ATLAS 実験におけるデータセットの詳細、データセレクションやトリガー条件について述べられている。また、解析に使用したモンテカルロシミュレーションサンプルの生成方法についても述べられている。本研究では、ジェットおよび横方向消失運動量を持ちレプトンを持たない終状態に着目した解析を行っており、レプトン、ジェット、横方向消失運動量に対する再構成手法およびそのパフォーマンスについて述べられている。

第5章では、探索感度の向上を目指し本研究で新たに開発・導入した解析手法である DNN top tagger について述べられている。DNN top tagger はディープニューラルネットワーク (DNN) 手法を用いて終状態におけるブーストされたトッ

プクオーク由来のジェットを検出するアルゴリズムであり、観測されたジェットの内部構造に関連した複数のパラメータをDNNのインプットとして、高効率でトップクオーク起源のジェットを検出すると同時に、これまでの手法に比べて数倍の背景事象除去率を実現している。本章ではアルゴリズムの詳細とその較正手法、パフォーマンスについて述べられている。

第6章では、ストップ探索解析手法および解析結果が詳述されている。背景事象の中から信号事象を選り分けるために、最適化された事象選択規則に基づく複数の信号領域で信号数を評価する。信号領域における背景事象数に見積もりは、背景事象のタイプ毎に設定したコントロール領域において観測された背景事象数から推定する、いわゆるデータ主導の背景事象の評価方法が採用されている。信号領域における背景事象数の見積もりの正当性は、別途設定したバリデーション領域で評価する。また、本解析における系統誤差についても詳述されている。実験データにおける再構成、較正、識別に関連する系統誤差、モンテカルロシミュレーション等で仮定されているモデルに関連する理論的な系統誤差、データ主導で見積もった背景事象に関する系統誤差の評価について述べられている。次に、信号を見積もるフィットで使用した統計モデルについて述べた後、最後に解析結果が述べられている。設定したすべての信号領域において、標準理論で予想される背景事象に比べて信号の超過は観測されなかった。さらに、ストップの質量に対する制限を導き出すための理論モデルを仮定したフィット、さらに新物理の断面積に対する制限を導き出すための理論モデルに依存しないフィットの結果が示されている。

第7章では、第6章で示されたフィット結果をもとに、理論パラメータに対する制限が示されている。ニュートラリーノ質量1GeVにおいて、ストップの質量に対して1.4TeV以下の領域を排除した。これは重いストップに対して得られたこれまでで最も厳しい制限である。本解析の探索感度は、同じデータを既存の手法で解析したものと比べて27%改善している。

第8章では、本研究の結論がまとめられている。

本研究は、ATLAS コラボレーションとしての共同研究であるが、論文提出者の主導で行われた研究であり、特に新たな解析手法の導入による探索感度の改善に対して論文提出者の貢献は大きい。したがって、博士(理学)の学位を授与できるものと認める。