

論文審査の結果の要旨

氏名 森達哉

本論文は10章からなる。

第1章では本論文の導入として、素粒子物理学標準模型の問題点とそれを解決すべく提案されている超対称性について、また研究の動機、手法が概説されている。Naturalnessを仮定する場合 stop (トップクォークの超対称パートナー) の質量は 1TeV 程度以下となり LHC-ATLAS 実験で探索可能である。本研究では、LHC Run2 の ATLAS 実験で取得された 28.0fb^{-1} を用いて終状態に1つのレプトンを伴う事象に注目して stop 探索を行った。本研究に先立ち Run2 の 13.2fb^{-1} 分のデータを用いて行われた同様の解析において $2.2\text{--}3.3\sigma$ 程度の弱い信号超過が観測されており、今回倍増したデータ統計および論文提出者が新たに開発した解析手法を含むより感度の高い探索を行うことで、先行研究の信号超過を検証するとともに、より広いパラメータ領域で探索を行った。本研究では、pp 衝突で対生成された stop のそれぞれが top クォークと最も軽い neutralino に崩壊 ($\tilde{t}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$)、2つの top がそれぞれレプトン崩壊、ハドロン崩壊をする事象を主な解析対象として、stop と neutralino の質量差に応じて3つのトポロジー、Boosted ($\Delta m(\tilde{t}_1, \tilde{\chi}_1^0) \gtrsim 3m_t$)、Resolved ($\Delta m(\tilde{t}_1, \tilde{\chi}_1^0) \sim 2m_t$)、Diagonal ($\Delta m(\tilde{t}_1, \tilde{\chi}_1^0) \sim m_t$) についてそれぞれで最適化された解析で探索を行った。特に Diagonal 解析は本論文提出者が独自に開発・提案した解析手法であり、背景事象と区別がより難しいトポロジーであるため、2-dimensional shape fit という手法を用いて背景事象をより精度良く見積もった。

第2章では LHC 加速器、ATLAS 検出器の概要が述べられている。

第3章では本研究で使用したデータセット、モンテカルロサンプルの詳細が述べられている。

第4章では解析に用いられた physics objects の定義について述べられている。

第5章では、信号事象を保持しつつ背景事象を可能な限り落とすよう最適化された事象選択の方法について述べられている。本解析における信号事象のトポロジーは、1レプトン、4ジェット(2つのbジェットを含む)、METである。事象選択の最適化は3つの解析方法別に行われ、特に Diagonal 解析については、

主要な背景事象である $t\bar{t}$ 事象と信号事象のトポロジーの差がより少ないことから事象選択で背景事象を効率的に落とすことは難しいため、信号の基本的なトポロジーのみに基づいた事象選択を行った。

第6章では、信号領域における背景事象の見積もりについて詳細な議論がされている。Resolved および Boosted 解析では、信号領域の他に、背景事象の事象数が多く信号事象の混入が少ないコントロール領域も併せて同時フィットを行い、背景事象、信号強度の見積もりを同時に行う。Diagonal 解析では(MET, M_T)の信号領域を含む二次元領域で、信号事象、背景事象の分布形状の違いを利用した二次元フィット(2-D shape fit)を行い信号および背景事象の強度を同時に見積もる。

第7章では、信号強度の見積もりのための統計的仮説検定の方法が述べられている。フィットパラメータ(信号強度、背景事象スケール、系統誤差パラメータ)の最適値を binned maximum likelihood fit によって見積もる。信号強度以外は nuisance パラメータとして profile し、信号強度の信頼区間を CLs 法により求めている。

第8章では、主要な系統誤差についての議論がなされている。

第9章では解析結果および今後の展望が述べられている。Resolved, Boosted, Diagonal の3つの解析それぞれ、および統合したフィット結果が示されている。いずれも背景事象のみの仮説と consistent であり、有意な信号の兆候は見られなかった。これにより Boosted 解析では $(m_{\tilde{t}_1}, m_{\tilde{\chi}_1^0}) < (1000, 300)\text{GeV}$ 、Diagonal 解析では $m_{\tilde{t}_1} < 430\text{GeV}, m_{\tilde{t}_1} > 200\text{GeV}$ を新たに除外した。これまでの他の結果とも合わせると naturalness の観点で妥当な仮定 $m_{\tilde{t}_1} < 1\text{TeV}$ に対して、 $m_{\tilde{\chi}_1^0} < 300\text{GeV}$ の領域がほぼ除外されたことになる。

第10章で本研究のまとめと結論が述べられている。

本研究は、ATLAS コラボレーション内での共同研究であるが、論文提出者が主導しており、特に新たな解析手法(Diagonal 解析)を独自に開発し、これまで探索が困難であったパラメータ領域での探索感度を改善するなど貢献は大きい。したがって、博士(理学)の学位を授与できるものと認める。