

論文審査の結果の要旨

氏名 齊藤 真彦

本論文は12章からなる。第1章は本実験の重要性を説明する理論的背景を説明するイントロダクションであり、第2章では本論文で用いた実験装置であるLHC加速器とATLAS検出器、第3章では本解析に用いるデータセット、第4章では研究対象となるトラックの再構成、第5章では本研究で探索の信号となる消失飛跡に対する再構成、第6章では事象選択、第7章ではバックグラウンドの評価、第8章ではデータから信号を取り出す手法、第9章では系統誤差の説明を行った上で、第10章では探索結果の記述がなされている。第11章ではその結果に対する解釈および議論、そして将来の探索感度向上を記述し、第12章で結論を導いている。

超対称性理論は、素粒子の標準理論を超えた動機づけの強い理論である。これまでの実験結果から、電荷を持つ最も軽い超対称性粒子の質量と、電荷を持たない最も軽い超対称性粒子の質量がほぼ縮退している模型が有力候補の一つだと考えられる。そのような模型では、電荷を持った超対象性粒子は0.01-0.1 ナノ秒程度の寿命を持って電荷を持たない超対称性粒子へと崩壊するため、加速器で電荷を持った超対称性粒子が生成できたとしたら検出器内で崩壊し特徴的な消失飛跡を与えると期待されている。本論文では、LHC加速器のATLAS検出器で測定された重心系エネルギー13 TeVのデータを用いて、そのような現象の発生を探索した。

本研究でもっとも重要な検出器は、第2章で説明されている衝突点近傍のピクセル検出器である。過去の同様の研究においては、ピクセル検出器は3層しかなく、そのため十分なバックグラウンド低減が難しかった。そのため、SCTと呼ばれる衝突点から300 mm程離れた検出器でのヒットの存在を要求する必要があった。すなわち、生成されたチャージーノが300 mmまで生存し、その後崩壊する現象のみに感度があった。一方2015年のデータからは、新たに衝突点の最近傍に加えられたピクセル検出器が利用できるようになり、衝突点から123 mmまでの4層のピクセル検出器でも強いバックグラウンド低減が可能となった。このことで、本研究対象の短寿命のチャージーノに対し、感度が一気に向上した。

より具体的には、第4章や5章で説明されている、4層のピクセル検出器のヒットにより **tracklet** と

呼ばれるトラックの再構成が行えるようにしたことが重要である。チャージーノが発生し、それがピクセル検出器より外までトラックを生じ、そのあと崩壊した場合、横向きの大きな消失エネルギーが観測されることが期待される。しかしながら衝突点からの距離が近いヒット群のみで再構成する必要があるため、トラックの曲率の決定精度、すなわちチャージーノの横向き運動量(tracklet の p_T)の分解能が劣化せざるを得ない。この分解能の劣化を正しく評価し、それに従い p_T 分布を正しく評価することが発見能力を決める。本研究の主眼は、その分解能とバックグラウンドを申請者が評価し、データの中にバックグラウンドで説明できない超過があるかどうかを検定したところにある。第7章では解析に必要な p_T 依存性のあるバックグラウンド評価を、データに基づいて行った。第9章では信号に関する系統誤差と、バックグラウンドに関する系統誤差を評価した。第8章は、それらすべてを取り込んで、統計的に信号の存在を確認する手法を述べている。

それらの結果、第10章に示されたように、チャージーノの生成で生じる傾向にある、大きな p_T 分布の中に、統計的な超過は見られなかった。第11章では、その結果の解釈を行った。本研究の探索目的であった純粋な wino が最も軽い超対称性粒子(LSP)の場合、その質量について 490 GeV 以上を排除 (90% 信頼度) , 純粋な higgsino が LSP の場合には 170 GeV 以上を排除した。なお宇宙論の制限では、チャージーノに対しては純粋な wino LSP のシナリオの場合 3 TeV まで、純粋な higgsino LSP の場合 1 TeV までの質量が許容されている。これらについて、将来の High-Luminosity LHC や、Future Circular Collider 等の次世代加速器による感度評価を行い、検出器の最適化によってはダークマターの残存質量密度から予言される短寿命のチャージーノを発見できる能力があることを示した。

なお、本論文については申請者本人を含む研究グループの共同研究によるものであるが、本研究は本人が主として取り組んできた先行研究(文献[105])に基づく。先行研究(文献[20])と比較すると物理的目標は同じであるが衝突エネルギーが異なり、4層のピクセル検出器を使うことで大幅な感度向上を行っている。別の先行研究(平成29年度 東京大学理学系研究科物理学専攻博士論文 小坂井千紘)は物理の動機は共通するが、文献[105]を元に別のチャンネルを探索した、解析の内容は全く別のものである。本論文提出者は、ピクセル検出器のモニタを行い、自ら中心となって開発したピクセル検出器の再構成手法を用いるなど、主体となって解析を行ってきた。その結果として新たな領域を排除しており、素粒子物理学に確かな寄与があったと判断できる。

従って、博士(理学)の学位を授与できると認める。