

論文審査の結果の要旨

氏名 結束晃平

本論文は、ATLAS 検出器を用い重心系エネルギー 7 TeV での陽子・陽子衝突における WZ 生成事象の生成断面積を測定したものである。弱い相互作用を媒介するゲージボソンである W 粒子と Z 粒子が同時に生成される WZ 生成事象には、クォーク-反クォーク対から直接 W と Z が生成されるダイアグラムの他に、triple gauge coupling (TGC) と呼ばれる、ゲージボソン同士の結合によるダイアグラムが寄与する。このゲージボソン同士の結合は、素粒子の標準理論の基幹をなすワインバーグ-サラム理論において、弱い相互作用が非可換ゲージ理論で記述されることによる帰結である。TGC を含むゲージ粒子の結合の大きさが標準模型の予想通りであることは、200 GeV 程度までのエネルギーでは過去の実験で精密に検証されているが、さらに高エネルギーでの振る舞いについては実験的検証が必要であり、 WZ 生成事象の研究はその重要な手段の一つである。

本論文では、 W 粒子と Z 粒子の崩壊モードのうち、特にクリーンな信号を得ることが可能であり、検出器の応答も実験初期から比較的よく理解されているレプトンへの崩壊モード ($WZ \rightarrow \ell\ell'$) に着目し解析を行った。なお、論文提出者はミュオントリガーシステムのコミッショニング・運転や、ミュオントリガー・再構成の効率測定を実験開始時から自らの手でこなしており、 WZ 生成断面積の解析に重要なミュオンの測定に特に大きな役割を果たしている。信号事象は (i) 高い横運動量を持つレプトン 3 つが存在、(ii) レプトン対 ($\ell\ell'$) の不変質量が Z ボソンと一致、(iii) $W \rightarrow \ell\nu$ による大きな横消失エネルギーの存在、の 3 つの基本的な事象選択を行うことにより選り出した。背景事象としては、(a) ZZ 生成 (b) $Z + \gamma$ 生成 (c) $t\bar{t}$ 対生成 (d) $Z + \text{ジェット}$ の 4 種類が残ることがわかったが、中でもモンテカルロシミュレーションでの見積りの不定性が大きい $t\bar{t}$ 対生成と $Z + \text{ジェット}$ の背景事象について、コントロールサンプルを巧みに用いて実データから見積もる方法を考案、確立することで、信頼性の高い測定を可能にした。解析の各ステップでシミュレーションによるデータの再現性の確認に気が配られており、実験初期に自らデータと格闘してその理解を深めた軌跡がうかがえる。

2011年にATLAS検出器で取得された 4.6 fb^{-1} のデータから選ばれた候補事象は317事象、シミュレーションで見積もられた背景事象は $68.1 \pm 5.5 \pm 8.2$ 事象、予想される信号事象は $231.2 \pm 1.1 \pm 7.8$ 事象であり、そこからWZ生成断面積は

$$\sigma_{WZ}^{\text{obs}} = 19.0_{-1.3}^{+1.4}(\text{stat.}) \pm 0.9(\text{syst.}) \pm 0.4(\text{lumi.}) [\text{pb}]$$

と求められた。最初の誤差は統計誤差、2番目は系統誤差、3番目はルミノシティの測定に伴う不定性である。これは、標準模型による予想値

$$\sigma_{WZ}^{\text{obs}} = 17.6_{-1.0}^{+1.1} [\text{pb}]$$

と誤差の範囲で一致し、重心系エネルギー7 TeVでも標準理論のゲージセクターの記述が正しいことが確かめられた。過去には米国・フェルミ国立加速器研究所においてWZ生成断面積の測定がされているが、1.96 TeVというエネルギーで数十事象という低統計の測定であったのに対し、本研究はより高エネルギーでの測定を高統計で行ったことで全く新しい知見を得たものである。また、この結果を元に標準理論からはずれたゲージボゾン同士の結合 (anomalous TGC) の大きさに世界最高レベルの制限をつけることにも成功している。

本論文は7章からなり、第1章で本研究の理論的背景を述べ、第2章では実験に用いられたLHC加速器とATLAS検出器の詳細を、第3章では事象選択と背景事象の見積もり、および系統誤差の評価について述べている。第4章ではWZ生成断面積を、第5章ではanomalous TGCに対する制限を求め、第6章で結果に対する議論と考察が、第7章で結論が述べられている。標準的なフォーマットに従いつつも、筆者の貢献が分かるメリハリの効いた構成であり、論文としての完成度も高い。

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、WZ生成断面積の測定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。