

氏 名 中村 純也

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 1753 号

学位授与の日付 平成27年3月 24 日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 素粒子原子核専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Study on jet angular correlations

論文審査委員 主 査 教授 野尻 美保子
教授 萩原 薫
教授 北野 龍一郎
講師 神前 純一
助教 阪村 豊

CERN フェロー Rikkert Frederix 欧州原子
核研究機構

論文内容の要旨

Summary of thesis contents

Azimuthal angle correlations among jets produced in association with heavy objects have been the subject of several studies. It has been found that experimental determination of such correlations can provide important information of the spin and CP properties of the objects. For example, the azimuthal angle difference between the two hardest jets in the gluon fusion production of the Higgs boson plus multi-jet is sensitive to the CP property of the Higgs boson. Currently observing the CP odd admixture accurately in this approach is difficult due to large theoretical uncertainties in the Monte Carlo event simulation arising from the matching between parton shower and the matrix element. It is needed to make theoretical predictions as accurately as possible by including effects of both soft and hard QCD radiation. The process is also limited statistically.

The experimental technique to measure such an angular correlation between jets should be established first by using standard model processes which have larger cross sections. Recently, it has been pointed out that the two partons in the top quark pair plus two partons process show a large azimuthal angle correlation near the threshold of the top quark pair, which is similar to the case of the CP odd Higgs boson. It is, therefore, hoped that experimentalists use the real data of the top quark pair production to improve our simulation tools, which is then used to probe the CP property of the Higgs boson. More precisely, they measure the azimuthal angle difference between two jets produced in association with a top quark pair and tune the Monte Carlo event generator to reproduce the data quantitatively. If an event generator tuned in this way is used, the theoretical uncertainty of the prediction of the azimuthal angle correlation between two jets produced in association can be reduced significantly. This will help achieve precise measurements of the CP property of the Higgs boson.

In this thesis, the top quark pair plus multi-jet process at the 14 TeV LHC is simulated and an azimuthal angle correlation between the two jets is studied. An algorithm for combining a fixed order calculation of matrix elements and the parton shower, which is called the merging algorithm, plays a crucial role in the study, because the top quark pair plus 2 partons matrix elements have to be included in the calculation in order to accurately predict the azimuthal angle correlation. A short introduction to the azimuthal angle correlation between two partons produced in association with the Higgs boson and the top quark pair is given to explain a motivation of the study. The parton shower algorithm is explained without technical details, because it is necessary to introduce the ideas of the merging algorithm. The CKKW-L merging scheme is explained in some details by considering the case of e^+e^- annihilation. Our practical implementation of the scheme with the parton shower model in PYTHIA8 is presented. The consistency of the merging algorithm is confirmed by comparing obtained results with experimental data of e^+e^- annihilation and proton proton collisions. The event

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

samples of the top quark pair plus multi-jet process are generated by merging the top quark pair plus up to 3 partons matrix elements with the parton shower, according to the validated merging algorithm. The generated event samples exhibit a strong azimuthal angle correlation between the two highest p_T jets with large rapidity separation, when the top quark pair plus up to 2 or 3 partons matrix elements are properly merged. The results are compared to the result of a naive approach in which parton shower evolution is applied to the matrix element event samples of only the top quark pair plus 2 parton process. They find a non-negligible difference in the distribution of the azimuthal angle correlation, which is induced by the strong Sudakov suppression of events with relatively low p_T jets. The impacts of including the top quark pair plus 3 partons matrix elements in the merging are studied carefully. When the two highest p_T jets are selected for studying the azimuthal angle correlation between jets, a non-negligible amount of the correlation is lost by accidentally selecting a jet which has its origin in a parton generated by the parton shower, if the 3 partons matrix elements are not included in the merging. They also confirm that the loss of the correlation can be avoided by including the 3 parton matrix elements in the merging algorithm, thus the prediction of the azimuthal angle correlation can be improved significantly.

Summary of the results of the doctoral thesis screening

本博士論文は、欧州原子核研究機構 CERN の巨大陽子ビーム衝突型加速器、LHC による高エネルギー素粒子実験で多数観測されるトップクォーク・反トップクォークの対生成事象において、強い相互作用の基本理論 QCD が予言するトップクォーク対と共に生成される多数のハドロンジェット間の強い角度相関を再現する、現実的な事象シミュレーション手法を開発したものである。同様の角度相関は、基本過程がグルオン・グルオン衝突となる様々な重粒子生成、例えばヒッグスボソンや重い重力子等に付随して生成される高横運動量ジェット間についても予言され、生成される重粒子のスピンの CP パリティを決定する有力な方法となることが期待されている。しかし現状では、この実験の前提となる、ビーム衝突軸周りの方位角相関の存在は実験的に検証されていない。

本研究では、LHC で多数生成されるトップクォーク対生成が主にグルオン・グルオン衝突によること、対生成の敷居値付近では全各運動量がゼロで CP パリティが負の振幅が主要項となるために、付随して生成される多ジェット間に強い方位角相関が予想されることに注目し、この QCD の予言を再現し、且つ実験事象との比較・較正が可能な、多重ハドロンジェット事象のシミュレーション手法を開発した。この研究により、豊富なデータの蓄積が可能な標準模型過程を用いた多重ジェット生成シミュレーションの改良が可能となり、始状態ジェット間の方位角相関を用いたヒッグスボソンの CP パリティの決定、CP 非保存の探索にも道を開く重要な成果である。

高エネルギー素粒子衝突実験におけるジェット現象再現の現状は、多ジェット相関は摂動 QCD の厳密な散乱振幅によって評価し、高次効果によるジェット生成率の減衰とジェット内の微細構造については、散乱振幅の前方輻射近似の足し上げによるパートンシャワーで評価する。この方法の確立により、LHC に於けるジェット現象を定性的に再現することができるようになったが、未だ不定性が大きく、各事象について実験データとの詳細比較によるパラメータの微調整が必要である。上述のヒッグスボソンと同時に生成される 2 ジェット相関についても、事象数が少ないこと等から未だ解析の端緒に留まっている。本研究では、トップクォーク対生成に伴う 2 ジェット間に同様の方位角相関が表れることに注目し、その実験的な解析によって、始状態ジェット生成事象を再現する QCD ジェットシミュレーションの手法を確立することを提案する。具体的には、オリジナル研究の著者の頭文字を並べた CKKW-L と呼ばれる QCD 摂動論による散乱振幅とパートンシャワーとのなめらかな接続法を用いて、最終結果のなめらかさと接続スケールへの非依存性を、電子・陽電子衝突によるジェット事象、陽子・反陽子衝突による弱ゲージボソン生成事象のデータとの比較によって検証した上で、LHC におけるトップクォーク対生成事象に適用した。特に重要な知見として、2 ジェット間の方位角相関の測定の場合にも、3 パートン生成の散乱振幅に基づくパートンシャワー事象をシミュレーションに加えることで、より忠実に摂動 QCD の予言を再現することを発見したことがあげられる。これは、パートンシャワー起源のジェットが誤って主要ジェットとして再構成される確率を大幅に低減させることで、摂動 QCD が予言する主要ジェット間の方位角相関をより正確にシミュレートすることが可能となることを示しており、ヒッグスボソン生成等の他の過程の解析にも応用できる知見だと思われる。

結論として、この研究により、トップクォーク対生成に伴う多重ジェット事象の解析を用いて、衝突するグルオン対の spin 相関を測定する実験的手法の開発が進展することが

(別紙様式 3)

(Separate Form 3)

期待される。よって本論文は総合研究大学院の学位論文にふさわしい内容を持つものと、審査委員全員一致で認定した。