

氏名	横山 広樹
学位の種類	博士 (理学)
学位記番号	博 甲 第 8756 号
学位授与年月日	平成 30年 4月 30日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理物質科学研究科
学位論文題目	

Measurement of jet spectra reconstructed with charged particles in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with the ALICE detector at the LHC

(LHC-ALICE 実験 $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV 鉛鉛衝突実験における荷電粒子ジェットの測定)

主査	筑波大学 教授	理学博士	三明 康郎
副査	筑波大学 准教授	博士(理学)	江角 晋一
副査	筑波大学 講師	博士(理学)	中條 達也
副査	筑波大学 准教授	博士(理学)	原 和彦
副査	広島大学 教授	理学博士	杉立 徹
副査	LPSC Grenoble	Prof. Ph. D.	Christophe Furget
副査	IPHC, Strasbourg	DR, Ph. D.	Yves Schutz
副査	LPSC Grenoble	CR, Ph. D.	Rachid Guernane

論 文 の 要 旨

審査対象論文は、欧州原子核研究機構 (CERN)のハドロン衝突型加速器 LHC を用いた世界最高衝突エネルギーにおける、鉛・鉛原子核衝突事象での荷電粒子ジェットの横運動量分布を ALICE 実験によって世界で初めて測定したものである。世界最高エネルギーでの原子核衝突により、これまでにない高統計のジェット測定が可能となり、その測定範囲は 100 GeV/c までに至る。本論文では、LHC 鉛・鉛原子核衝突で生成されるクォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) 中でのパートンのエネルギー損失機構の解明を目的とし、ジェットの精密測定によりそれを評価したものである。

第1章では、高エネルギー原子核衝突の概要、クォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) について、また本論文の主題であるジェット、特にジェットの生成過程、ジェットをプローブとした QGP 物性研究、量子色力学に基づくパートンのエネルギー損失機構について述べられている。その後、これまでの研究背景を受けて、本論文の研究動機が記述されている。

第2章では、LHC 加速器および ALICE 実験のセットアップについて述べられている。本人が開発に関わった、ALICE 電磁カロリメータ検出器群 (EMCal, DCal, PHOS) の光子・ジェット Level 1 トリガーアル

ゴリズムについては、その仕組みの詳細と、動作・評価結果について述べられている。特に著者が新しく開発した、 180° 反対側方向に位置するカロリメータを用いたバックグラウンド計算方法について、詳しく記述している。本論文で述べられている DCal 検出器は、従来の EMCal, PHOS という電磁カロリメータに加えて、LHC Run-2 のために新たに開発された電磁カロリメータであり、LHC 長期休止期間である 2014 年に新しく導入され、2015年の LHC Run-2 より運用を開始した。この新規電磁カロリメータ検出器群では、EMCal, DCal, PHOS といった異なる検出器間の相互通信によるオンライン・バックグラウンド除去方式を新しく導入することにより、従来の手法と較べて、より高効率の光子・ジェット Level 1 トリガーシステムが構築されたことを示している。

第3章では、データ解析手法について、第4章では、系統的不確かさについて、それぞれ述べられている。原子核中心衝突において、主に低横運動量の粒子で構成される、ジェット以外からの多数のバックグラウンドの取り扱いについて記述し、それらをランダム・コーン法等により評価し、差し引いている。また検出器効果とバックグラウンドの揺らぎの効果を、アンフォールディング法によって補正し、荷電粒子を使ったジェットの横運動量分布を測定し、その系統的な不確かさを評価している。

第5章では、荷電ジェットの横運動量分布の測定結果、また陽子・陽子衝突の結果と比較し、QGP 中でのパートンのエネルギー損失機構についての考察が述べられている。世界最高衝突エネルギーでの鉛・鉛原子核衝突について荷電ジェットの測定を世界に先駆けて行い、QGP 生成の証拠の1つである、「ジェット抑制効果」のシグナルを明確に捉えている。またそのジェット生成の抑制度合いについて、3つのモデルと比較し、QGP 中でのエネルギー損失機構に制限をかけている。本論文では、入射エネルギーの値に関係なく、単位通過距離あたり、ある一定のエネルギーを損失するモデル (constant energy loss model) が、実験データを最もよく説明できることを明らかにしている。さらに、異なる原子核衝突事象(衝突径数依存性)のデータを用いて、エネルギー損失度合いの通過距離 (L) 依存性を調べ、それが L の1次ではなく、2次 (L^2) の依存性の方が、測定結果をよく説明できることを検証している。これはエネルギー損失機構が、衝突によるエネルギー損失に比べて、グルーオン放射でのエネルギー損失が優位であることを示唆している。また異なる衝突系・ビームエネルギーのデータと比較し、LHC 加速器を使った鉛・鉛 5.02 TeV 衝突事象では、RHIC (200 GeV, 金・金衝突)と比べて単位長さあたりのエネルギー損失が約4~5倍であることも明らかにしている。

第6章では、まとめと今後の展望が述べられている。

審 査 の 要 旨

[批評]

審査会は全て英語で行われた。まず本人による本論文の内容についての発表を行い、その後、質疑応答が行われた。前半の発表と質疑応答の部分については公開で行われた。後半の部分では、主査、副査から本論文の内容について、さらに踏み込んだ質疑応答がなされた。

本論文での示されているデータは、全て ALICE 実験内で審査され、暫定結果 (preliminary data) として既に公開されているものであり、測定データの信頼性が非常に高いことが審査員から挙げられた。また、本人が開発に大きく関わった電磁カロリメータ検出器の光子・ジェット Level 1 トリガーアルゴリズムの新規開発については、LHC Run-2 (2015-2018) の期間中、本人が開発したトリガーにより、順調にデー

タ収集が行われていることから、ALICE コラボレーション内からも高い評価を受けている、との意見があった。審査委員会は横山氏の正確かつオリジナリティのある本トリガーアルゴリズムの開発を高く評価し、ALICE 実験などの巨大実験施設で要求されるハイレベルの業績として認識した。また審査委員会は、データ解析において、複雑な鉛・鉛衝突事象におけるジェット測定を、同様に複雑な系統的不確かさの評価方法も含めて、高く評価した。得られた結果は、ジェット抑制効果と QGP 物理にとって新しい知見をもたらすと認識された。

また博士論文においては、その内容が非常に高いレベルにあることが評価された。審査会当日の研究内容の発表、質疑応答においても、本論文に即した充実した内容であった。

〔最終試験結果〕

平成30年3月29日(於 筑波大学)、数理物質科学研究科学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。なお副査の Yves Schutz 氏は、テレビ会議システムを用いて審査会に参加した。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。