

論文審査の結果の要旨

氏名 佐野 哲

本論文は英文で書かれ、本文8章と補章6節から構成されている。第1章は序論で、この研究の背景特に高エネルギー原子核衝突実験によるクォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) 研究と、本論文の動機がまとめられている。第2章はこの研究の背景となる高エネルギー陽子および原子核衝突反応の基礎と、これまでに得られた実験的知見のレビューにあてられている。第3章では、本論文のデータ収集に用いられたLHC加速器におけるALICE測定器が紹介され、第4章では実験で用いた陽子ビームの条件などがまとめられている。第5章でデータ解析の詳細が述べられ、第6章で実験結果が示され、第7章でその物理的意味が議論されている。第8章は論文のまとめと今後の課題にあてられ、補章で解析の詳細が補足されている。

この論文の主題は、CERN研究所のLHC加速器での重心系エネルギー7 TeV ($7 \times 10^{12} \text{eV}$) の陽子+陽子衝突で、ストレンジクォークを含む粒子の生成スペクトルを測定し、その物理的意味を考察したものである。LHC加速器は2010年に稼働を開始した世界最高エネルギーの衝突ビーム型加速器で、本論文で用いた実験データは、LHCに設置された大型測定器ALICEを用いて2010年に収集された。

量子色力学QCDによれば、原子核を十分に高いエネルギーで衝突させると、陽子・中性子・ π 中間子などからなる核物質から、クォークとグルーオンからなる新たな高温物質相「クォーク・グルーオン・プラズマ」(QGP)に転移すると考えられている。米国の相対論的重イオン衝突型加速器RHICにおいて行われた先行研究(核子あたり0.1TeV)では、すでにQGP生成を強く示唆する実験結果が得られており、今後はLHCでの重イオン衝突実験により、QGPの詳細研究が進展する予定である。

高エネルギー原子核衝突では、原子核大きな体積において、熱平衡に近い状態を作ることができ、QGP生成に適していると考えられる。これに対し、陽子+陽子衝突は体積が小さいのでQGP生成に適さないと考えられてきたが、最近、米国のテバトロン加速器(重心系エネルギー1.8 TeVの陽子・反陽子衝突)では粒子多重度が高い事象でQGP生成の徴候とも理解できる結果が得られ、LHCのエネルギー領域では、陽子+陽子衝突でもQGPが生成されるのではないかという期待があった。

QGP生成の特徴的な信号として、ストレンジクォークを含む粒子の収量の増加が挙げられる。そこで論文申請者らは、ALICE測定器を用いて非ストレンジ粒子(π , p)とストレンジ粒子(K, Λ , Ξ , Ω)の収量を測定した。

この実験を行う上の要点は、タイムプロジェクトンチェンバー(TPC)による荷電粒子の飛跡検出・運動量測定と、TPCと飛行時間測定器(TOF)を組み合わせた粒子識別である。また、弱い相互作用によって数cmの飛程で崩壊する K^0_s , Λ , Ξ , Ω については、崩壊で生成される荷電粒子の飛跡間の距離や、飛跡とビームの衝突点の間の距離などの幾何学的条件を課した上、相対論的不変質量を求めた。

粒子の収量（単位ラピディティあたりの収量 dN/dy ）は、粒子の横運動量 p_T 分布を、Tsallis関数でフィットすることによって求めた。Tsallis関数は、粒子発生に関する流体力学モデルで、先行研究でも広く用いられている関数である。フィットの結果、粒子の収量に加え、運動学的凍結温度が $T_f \sim 110 \text{ MeV}$ と得られ、また、流体の表面速度 β_s が粒子多重度とともに0.3から0.7に増加するという結果が得られた。 β_s が有限値を持つということは、衝突で発生した「流体」が横方向に膨張し、その表面から粒子が発生しているという描像で理解できる。陽子+陽子衝突で有限の β_s が観測されたのは、本実験が初である。

次に、粒子の収量の比率（ Λ/π , Ξ/π , Ω/π など）を求め、これを化学凍結モデルでフィットした。ほとんどの粒子収量比率は、化学凍結モデルと良い一致を示したが、ストレンジバリオン（ Λ , Ξ , Ω ）の収量は、化学凍結モデルの予想よりも1.5～2倍高いことが見出された。また、フィットから、化学凍結温度が $T_{ch} = 150\text{-}160 \text{ MeV}$ 、ストレンジネス飽和係数が $\gamma_s = 0.5\text{-}0.6$ と求められた。

陽子+陽子衝突において、化学凍結モデルから大きくずれたストレンジバリオンの収量が観測されたのは、本実験が初である。しかし γ_s は1よりも小さく、重心系エネルギー7 TeVの陽子+陽子衝突でQGPが生成していると結論することはできない。今後高エネルギー陽子+陽子衝突におけるストレンジ粒子生成メカニズムに対するさらなる研究が必要である。

このように、この博士論文は最高エネルギーの陽子+陽子衝突実験で、ストレンジ粒子の生成を初めて測定した結果をまとめたもので、その学術的価値は高い。実験はALICEという大きな国際研究グループで行われたものであるが、論文申請者は本論文に不可欠な測定器であるTPCの校正を行い、本論文に記載されたすべての解析を行った。また、本論文の内容を申請者の学位申請論文とすることについては、ALICE実験グループの代表者の承諾が得られている。このことから、本人の寄与が十分あり、博士号を授与するのに十分な内容であると、審査員一致で判定した。