

論文審査の結果の要旨

氏名 堀 泰斗

本論文は英文で書かれ、本文7章と補章10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章はこの研究の目的である、方位角多粒子相関について詳しく述べている。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、特に解析に重要な役目を果たすタイムプロジェクションチェンバー(TPC)と、前方粒子多重度測定器(FMD)、及び解析に使用したデータ収集条件についてまとめている。第4章でデータ解析の詳細が述べられ、第5章で実験結果と、その物理的意味が議論されている。第6章は論文のまとめと今後の課題にあてられ、補章で解析の詳細等が補足されている。

この論文の主題は、CERN研究所のLHC加速器での核子あたりの重心系エネルギー2.76TeV (2.76×10^{12} eV) の鉛+鉛 原子核衝突において、衝突関与部から多重発生する荷電粒子の、反応平面からの生成方位角分布の非等方性の測定と、その物理的意味である。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)に一時的に転移すると考えられている。衝突で高温になるのは、二つの原子核が重なった衝突関与部である。衝突直後は生成粒子の平均自由行程が系のサイズより十分に短く、衝突関与部は流体的に膨張する。その後、膨張が続いて温度が下がると、平均自由行程が系のサイズを超える。この時の温度を凍結温度と呼び、その時点での流体表面を「運動量凍結面」と呼ぶ。

一方、原子核のうち衝突に関与しなかった部分は前後方に飛び去り、粒子を多重発生する。前後方に設置した測定器でそれらの粒子を捉えることで、反応平面を決めることができる。

生成関与部から生成する粒子の方位角（反応平面から測った角度）分布は非等方的（楕円的）であることが既に知られているが、その際、運動量凍結面上の同一の時空点から、粒子と反粒子が対になって発生する確率が高いのではないかと、論文提出者は考えた。そこで本研究では、粒子の電荷を識別して、正電荷粒子と負電荷粒子の間の相関（実効的な局所電荷保存 Local Charge Conservation (LCC)) の有無を実験的に調べた。

そのために測定したのが、相関量 $\Delta\langle\cos(\phi_\alpha - \phi_\beta)\rangle$ である。ここで ϕ は生成粒子の方位角、 α と β は粒子の電荷、 $\langle\dots\rangle$ はすべての衝突事象における全粒子対での平均、 $\Delta\langle\dots\rangle$ は α と β が異符号の場合から同符号の場合を引いた結果を意味する。この相関量は、粒子-反粒子間の方位角方向の“距離”に反比例しており、LCC相関が無ければ当然0になるべき量である。

実験結果から、衝突パラメタが大きくなる（衝突時の原子核の中心間距離が大きくなる）にしたがって、相関量が大きくなる（粒子-反粒子間の方位角方向距離が小さくなる）ことが見出された。また、流体的に膨張した衝突関与部の、運動量凍結面上で、LCCが成り立つと仮定したモデル（LCCブラストウェーブモデル）を用いると、実験で観測された相関が再現できることが示された。

このように、この博士論文は最高エネルギーの原子核衝突実験で、局所電荷保存（LCC）に起因すると考えられる相関を初めて観測したものである。その起源の微視的理解は今後の研究の課題であるが、このような相関の存在可能性を発想し、解析手法を確立し、相関が存在することを示したのは、この研究が初めてであり、独自性は非常に高い。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、論文申請者は本研究を発案し、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、共同研究者の同意を得ている。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。