

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	星 野 知 也
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1・②項該当		
論文題目			
<p style="text-align: center;">Measurement of low transverse-momentum direct photons in Cu+Cu collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV</p> <p style="text-align: center;">(核子対あたり重心系衝突エネルギー 200 GeV 銅+銅原子核衝突における低横運動量直接光子の測定)</p>			
論文審査担当者			
	主 査	教 授	志 垣 賢 太
	審査委員	教 授	小 嶋 康 史
	審査委員	教 授	深 澤 泰 司
	審査委員	准教授	山 口 頼 人
〔論文審査の要旨〕			
<p>本論文は、高エネルギー原子核衝突において生成する高温高密度物質状態「クォーク・グルーオン・プラズマ」(QGP)の性質解明に向け、核子対あたり重心系衝突エネルギー 200 GeV の銅+銅原子核衝突において低横運動量の直接光子を仮想光子法により測定解析し、系の大きさあるいは衝突エネルギーの異なる原子核衝突との比較から、上述光子の生成には QGP-ハドロン相転移近傍の寄与が重要であることを示したものである。</p> <p>高エネルギー原子核衝突において様々な過程で生成する光子のうち、ハドロン崩壊を起源としないものを直接光子と呼ぶ。光子は電磁的な探針であり、生成した高温物質相が膨張により冷却され通常のハドロン相に戻った後の強い相互作用による擾乱を受けないため、衝突初期の高温高密度物質の性質探究に適している。特に、比較的低い横運動量領域において初期高温状態から放出された熱光子が主に寄与する領域が存在する。熱光子は高温物質相の熱力学的な特性を反映し、同相の性質理解に重要な探針として注目される。</p> <p>先行研究として、米国ブルックヘブン国立研究所 RHIC 加速器 PHENIX 実験などにより、陽子+陽子や重陽子+金原子核の小さい衝突系と金+金原子核の大きい衝突系の双方で低横運動量直接光子が測定され、後者では熱光子成分が検出されている。また、本研究と時期的に並行して、CERN 研究所 LHC 加速器 ALICE 実験において、より高い衝突エネルギーでの直接光子測定が行われた。直接光子の収量および運動量スペクトルの測定から高温物質相の熱的特性が研究される中で、より系統的な測定が求められる段階に至っており、本論文の扱う銅+銅原子核衝突は中間的な大きさの衝突系として重要な位置を占める。</p> <p>著者は、PHENIX 実験において 2005 年に収集された核子対あたり重心系衝突エネルギー 200 GeV の銅+銅原子核衝突データを用いて、低横運動量直接光子の仮想光子法による測定解析を主導した。仮想光子法とは、実光子生成に高次機構として伴う仮想光子生成</p>			

を利用し、仮想光子が崩壊した低不変質量の電子対の測定から直接光子の収量とスペクトルを決定する手法である。実験的に測定された電子対の質量スペクトルは、ハドロン崩壊起源の電子対に代表される膨大な背景雑音成分を有し、仮想光子の寄与は背景雑音成分からの超過として統計的に抽出する。そのため、本解析では背景雑音の見積と差引が極めて挑戦的かつ重要である。著者は、背景雑音成分のうち無相関電子対の見積には生成粒子の集団運動の影響を考慮した混合事象法を用い、有相関電子対の見積にはモンテカルロ・シミュレーションを用いた。特に前者は仮想光子法による直接光子解析における初めての適用である。また後者はデータ自身に基づく（ただし統計的には不利な）別手法でも独立な見積を行い妥当性を確認した。これらの複合的手法により、直接光子成分の抽出に成功し、全生成光子に占める直接光子の比率を測定して、量子色力学計算との比較から熱光子成分を見出した。さらに、銅+銅原子核衝突を最小バイアス、中心衝突、周辺衝突の3つの衝突中心度に分け、直接光子および熱光子成分の横運動量スペクトルを決定した。後者の指数関数による近似により、最小バイアス衝突における有効温度は 285 ± 53 (統計誤差) ± 57 (系統誤差) MeV と求めた。この結果は、同じ衝突エネルギーにおける金+金原子核衝突と誤差範囲で一致し、有効温度の衝突幾何依存性が小さいことを示した。また、様々な衝突系および衝突エネルギーにおいて直接光子の収量（ラピディティ密度）を生成荷電粒子のラピディティ密度の関数として比較し、指数 1.25 の冪乗スケールリングと、陽子+陽子衝突と原子核+原子核衝突での収量の差異を確認した。これは、直接生成光子の生成率が衝突系の大きさや衝突エネルギーに依らず一律に表せることを示し、衝突系が膨張冷却して到る QGP - ハドロン相転移の近傍からの寄与が支配的と示唆する結果である。

上記のとおり、著者は本論文において、核子対あたり重心系衝突エネルギー 200 GeV の銅+銅原子核衝突データを新規手法も駆使して詳細に解析し、低横運動量直接光子の収量と横運動量スペクトルを仮想光子法により求めた。さらに、この測定結果に基づき、系の大きさあるいは衝突エネルギーの異なる原子核衝突との比較による系統的考察から、熱光子生成の機構に迫る新規かつ重要な情報を提供した。これらの研究成果は、クォーク物理学分野の研究進展に大きく寄与するものであり、高い学術的価値が認められる。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認める。

公表論文

A. Adare, T. Hoshino, *et al.* (PHENIX Collaboration), Low-momentum direct-photon measurement in Cu+Cu collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV, *Physical Review C* 98, 054902 (2018).

参考論文

1. A. Adare, T. Hoshino, *et al.* (PHENIX Collaboration), Azimuthally anisotropic emission of low-momentum direct photons in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV, *Physical Review C* 94, 064901 (2016).
2. A. Adare, T. Hoshino, *et al.* (PHENIX Collaboration), Dielectron production in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV, *Physical Review C* 93, 014904 (2016).