

論文内容の要旨

論文題目

Production of Charmonia in Cu+Cu
and p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200\text{GeV}$
(核子対当りの重心エネルギー200GeVの銅原子核
衝突と陽子衝突におけるチャーモニウムの生成)

氏名 織田 勸

本論文は米国ブルックヘブン国立研究所の衝突型重イオン加速器(RHIC)を用いた、核子当りの重心エネルギーが200GeVでの銅原子核衝突(Cu+Cu)の際の J/ψ 中間子の生成と陽子衝突(p+p)の際の χ_c 中間子の生成に関する研究を記述するものである。

量子色力学(QCD)はクォークとグルオンの間の強い相互作用を記述するゲージ理論である。QCDに基づく計算はエネルギー密度が毎立方fm当り1GeV以上で、温度が170MeV以上の条件下で、クォークの閉じ込めが破れ、原子核物質相からクォーク・グルオン・プラズマ(QGP)相に転移することを予測している。QGP相中では、相互作用はハドロンの自由度ではなく、パートン(クォークとグルオン)の自由度で起きる。

この高温高密度状態は初期宇宙で実現されていたと考えられるが、地球上の実験室で実現するには高エネルギー重イオン衝突が唯一の手段である。1970年代から始まった実験は次第に重心系でのエネルギーを上げていき、2000年から核子当りの重心エネルギーが200GeVでの衝突を起こすことのできるRHICの運転が開始された。RHICには4つの実験があり、PHENIX実験はQGPの生成の証拠を捉え、その性質を調べるため、多くの物理量を観測できるように建設された検出器群を擁している。

チャーモニウムの収量抑制はQGP生成の最も有力な証拠になると長い間考えられて来た。QGP中ではチャームクォーク・反チャームクォーク間の色電場が近傍に多数存在するクォークとグルオンによって遮蔽され、引力が弱まって束縛状態として存在できなくなり、QGPが存在しない場合に比べ、収量が減少すると期待される。 J/ψ はチャーモニウムの中でも、

測定が比較的容易なレプトン(電子、ミューオン)対に崩壊し、生成断面積も大きいという利点がある。

チャーモニウムの収量抑制の実験的研究はまず 1990 年代にスイスの SPS 加速器を用いた核子当りの重心エネルギーが約 17GeV での陽子衝突と鉛原子核衝突の際の J/ψ と ψ' の収量を測ることによって行なわれ、収量抑制の兆候が捉えられた。

よりエネルギーの高い RHIC でのチャーモニウムの測定は PHENIX 実験により J/ψ に関して陽子衝突、金原子核衝突、重陽子金原子核衝突が行なわれてきた。

筆者は衝突に関与する核子数の少ない領域で精度良く測定できる銅原子核衝突で J/ψ の収量を測定した。

しかし、チャーモニウムの収量は QGP だけでなく、冷たい原子核の影響により衝突の初期段階と最終段階でも変化する。チャーモニウムは主に原子核中にあるグルオン同士が融合することによって生成されると考えられているが、グルオンの分布が陽子中と原子核中で異なることが知られている。

また、生成されたチャーモニウムの一部は原子核中の核子と衝突し分解するが、その時点で引力的なカラー1重項ではなく、斥力的なカラー8重項の準安定状態の方が分解しやすいため、チャーモニウムの生成の際のカラー1重項と8重項の寄与の評価が、冷たい原子核の影響を推定するために重要である。

この評価に貢献するのが陽子衝突の際の χ_c の生成の測定である。 J/ψ のうちの χ_c の崩壊からできた割合はチャーモニウムの生成の際のカラー1重項と8重項の割合に大きく依存する。

また、励起状態である χ_c は QGP 中での分解する温度が束縛エネルギーの大きい J/ψ よりも低いと予想され、そのため χ_c の方が早く分解し、直接 J/ψ として生成されたものは分解していなくても、 J/ψ の収量が減少すると考えられている。

本研究では J/ψ は電子陽電子対を捉え、 χ_c は J/ψ と光子の対を捉え、その不変質量を再構成することにより測定を行なった。衝突の発生点と幾何学的配置は水晶を用いたチェレンコフ光検出器で測り、その情報を事象のトリガーとして用い、荷電粒子の運動量をドリフトチェンバーと多芯比例計数管で測った。ガスリングイメージングチェレンコフ光検出器と電磁カロリメータで電子であることの識別を行ない、これをトリガーとしても用いた。光子のエネルギーは電磁カロリメータで測定した。検出効率、検出可能部の大きさ、トリガーの効率を補正し、収量を求めた。

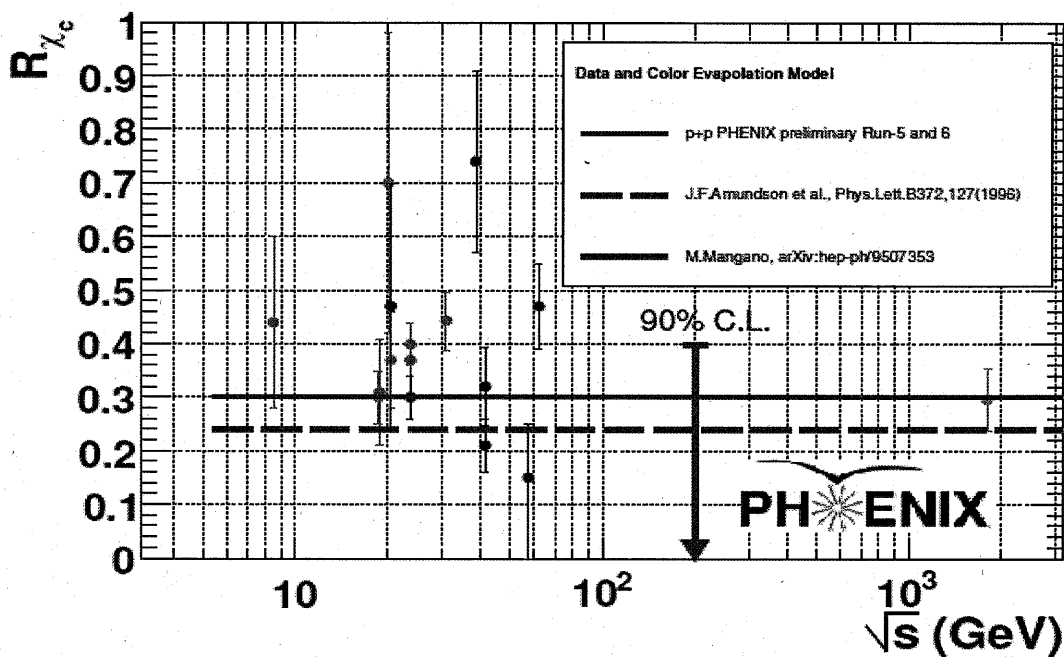


図1 J/ψ のうち χ_c の崩壊からできたものの割合。200GeVの矢印が今回求めた上限値である。

本研究では J/ψ の収量うちの χ_c の崩壊から来る割合の陽子衝突における上限値を得た(図1)。この結果はColor Evaporation模型の結果と一致しており、 χ_c の寄与は多くなく、カラー8重項の寄与が重要であることを示唆するものである。

観測された J/ψ の銅原子核衝突の際の収量は、核子衝突の重ね合わせと仮定した場合の収量に比べ約半分であった(図2)。カラー8重項の寄与と冷たい原子核の影響を現象論的に取り入れた理論模型は銅原子核衝突の際の J/ψ の収量を良く説明した。

PHENIX実験によって既に測られた、銅原子核より質量数の大きな原子核である金原子核の衝突の際の J/ψ の収量は、上記の現象論的模型の予測よりもずっと大きく抑制されている。以上のことから金原子核衝突の際の J/ψ の収量の抑制は冷たい原子核以外の影響によることが結論される。

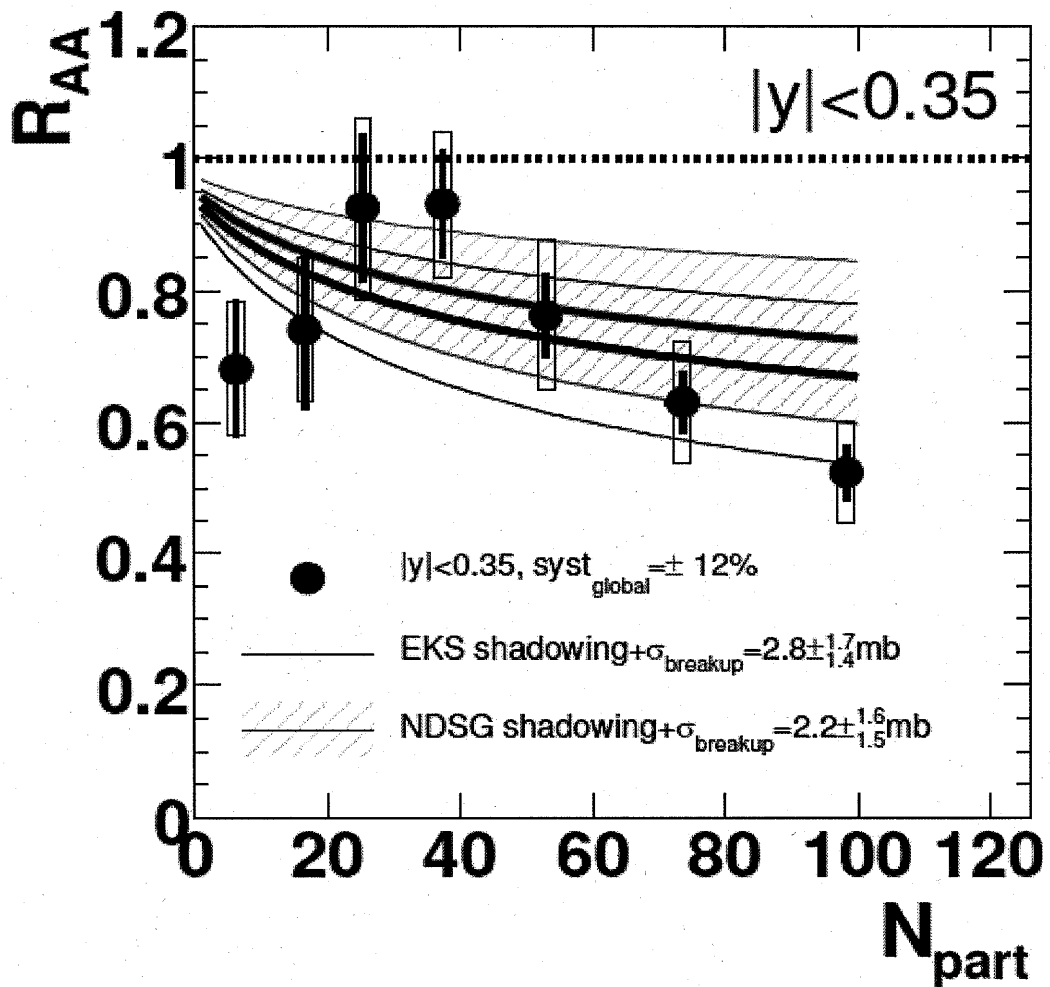


図2 銅原子核衝突の際の J/ψ の収量の陽子衝突の際の収量に対する割合と冷たい原子核の効果のモデル計算結果