

(論文内容の要旨)

本申請論文は、重心系 62.4GeV の偏極陽子偏極陽子衝突における中性パイ中間子の二重スピン非対称 A_{LL} の測定と陽子スピンへのグルオンの寄与について調べたものである。陽子はスピン 1/2 をもつ。また、陽子はクォーク・グルオンからなる複合粒子である。ではそのスピンはどこからくるのか。90年代に行われた偏極レプトン核子散乱実験(DIS)では、クォークスピンの寄与が、陽子スピンのわずかに 30%程度しかないことがわかった。これはスピクラシスと呼ばれて理論実験両面で大きな注目を集めた。残りはグルオンスピンかクォークまたはグルオンの軌道角運動量ということになる。陽子中のパートンの運動量についてはグルオンが半分をしめることから、陽子スピンについて特にグルオンスピンの寄与が注目された。

従来の研究は主に DIS に基づいている。DIS は電弱相互作用によるものであり、グルオンに最低次では結合せず、グルオンに不感である。一方、この研究では偏極陽子陽子衝突による散乱を用いる。これは強い相互作用によるもので最低次でグルオンが参加するため、グルオンのスピン偏極に敏感となる。この研究の実験条件では陽子陽子衝突における中性パイ中間子生成は主にクォーク・グルオン、グルオン・グルオン反応によって生成される。そのスピン非対称度 A_{LL} の測定によって、グルオン偏極に対する情報が得られる。

本研究は、米国ブルックヘブン国立研究所の相対論的重イオン衝突型加速器(RHIC)において、2006年に行った重心系エネルギー62.4GeVの偏極陽子陽子衝突実験で収集したデータに基づいている。解析したデータの輝度は 40nb^{-1} 、ビームの平均偏極度は 48%であった。衝突で生成される中性パイ中間子を、2光子崩壊モードでとらえた。崩壊光子は、PHENIX 検出器の電磁カロリメータ(EMCal)で測定した。

測定した中性パイ中間子の横運動量は $p_T=1\sim 4\text{GeV}/c$ 、ラピディティーは $|\eta|<0.35$ であった。プローブする Bjorken- x は、スケーリング変数 $x_T=2p_T/\sqrt{s}$ でスケールする。また、同じ x_T で比較すると、重心系エネルギー62.4GeVでは、200GeVと比べて断面積が二桁大きい。従って、2005年に取得した重心系エネルギー200GeVのデータと比較して、高い Bjorken- x のグルオンを小さな輝度でも高い統計精度でプローブすることができると期待できる。

測定データは、 x で 0.06-0.4 の範囲に感度をもつ。測定した A_{LL} は、統計の不定性の範囲内でゼロであった。この結果は非常に大きな偏極グルオンのモデル(GRSV-max)を否定するものである。グローバル解析グループ、AACによると、DISのみの場合と比較して、本研究によってグルオンスピン偏極の不定性が大幅に小さくなったことが示された。 $(\Delta G=0.5\pm 1.1 \rightarrow 0.26\pm 0.39)$ 。また、本研究の結果を取り入れた最新のグローバル解析 DSSV の解析によると、 $\Delta\chi^2=1$ の不定性で、 $\int_{0.001}^1 \Delta g(x)dx=0.013^{+0.106}_{-0.120}$ が得られた。この不定性は、以前に DIS のみを用いて得られた結果と比べ、許されていた範囲が大幅に縮小した。

さらにこの実験では A_{LL} に加えて、中性パイ中間子の生成断面積の測定も行った。測定結果を Next-to-Leading-Order (NLO) 及び Next-to-Leading-Log (NLL) の pQCD 理論計算と比較し、理論計算の不定性の範囲で一致していることがわかった。従って、スピンについての測定結果も pQCD によって解釈することができると考えられる。また、パリティを破る単スピン非対称度 A_L の測定も行い、予想どおり統計精度の範囲でゼロであることを確認した。また、二重横偏極非対称度 A_{TT} の測定もおこなったが、これも統計精度の範囲でゼロであった。 A_{TT} は、ビーム偏極の残留横方向成分を通じて、 A_{LL} の測定結果に影響する。その効果は、すべての p_T で、 A_{LL} の統計誤差の 15%未満であることが確かめられた。

氏 名

青木 和也

(論文審査の結果の要旨)

本申請論文は、重心系エネルギー62.4GeVでの偏極陽子陽子衝突における中性 π 中間子生成のスピンの非対称(A_{LL})の測定と、陽子スピンへのグルオンの寄与について論じたものである。陽子スピンの起源については、偏極レプトンによる深非弾性散乱によってクォークの寄与が小さいことが知られており、陽子スピンの謎として注目を集めてきた。そしてグルオンの寄与を明らかにすることが強く求められていた。そこでBrookhaven研究所では偏極陽子を高エネルギーに加速し、偏極陽子陽子衝突実験を行い、グルオンスピンについての研究を行ってきた。これまでは重心エネルギー200GeVでの偏極陽子衝突の中性 π 中間子生成などのスピンの非対称の測定が行われてきた。

申請者等は、重心エネルギーをむしろ200GeVより下げて偏極陽子陽子衝突からの中性 π 中間子生成のスピンの非対称を測定することで、パートンの運動量割合(Bjorken x)の大きな領域で感度の高いグルオンスピン偏極の測定が可能となることに注目し、62.4GeVで測定を行った。非対称度そのものは誤差の範囲でゼロであったが、その結果たしかに x の大きな領域でこれまでより、グルオンスピンの寄与により強い制限をあたえた。このことは、陽子スピンの起源についての重要な結果であり高く評価できる。申請者が得たデータは、すでに二つの研究グループにより陽子スピン構造関数のグローバル解析に用いられて、より正確なスピン構造関数の決定に大いに貢献している。このことはこのデータの価値をしめすものである。

この実験は大規模なものである。大規模な実験装置を用いての実験データの取得や、膨大なデータ解析、スピン偏極度や非対称度測定への系統誤差の解析など、申請者がこの研究において中心的な役割を果たしたことを確認した。論文には、偏極陽子ビームの加速や実験装置、そしてデータ解析の詳細が書かれており、博士論文として十分な質であると判断した。

さらに、この論文では、中性 π 中間子の生成断面積についても、その絶対値を精度よく求め、摂動QCD計算と誤差の範囲で一致することをしめた。また A_{LL} 以外のスピンの非対称(A_L , A_{TT})の新しい結果も得ている。いずれも実験誤差内でゼロであるが、 A_{LL} のデータの系統誤差についての信頼度をあげるものともなっている。本論文は、陽子スピンの起源の問題のうちグルオンスピンの寄与について、信頼できる新しいデータを与えたものとして評価できる。

なおこの論文の主要な部分はPhysical Review誌に公表されている。

よって本申請論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、論文内容と関連研究分野に関する試問を行った結果、合格と認めた。