

氏 名	ふか 深 お 尾 よし 祥 のり 紀
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 3207 号
学位授与の日付	平 成 19 年 11 月 26 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Double helicity asymmetry for π^0 production in polarized $p+p$ collisions at $\sqrt{s}=200\text{GeV}$: Implications for the polarized gluon distribution in the proton (重心エネルギー200GeVでの陽子陽子衝突における π^0 粒子の二重ヘリシティ-非対称度：陽子内偏極グルーオン分布に対する影響)
論文調査委員	(主 査) 教 授 今 井 憲 一 教 授 笹 尾 登 教 授 永 江 知 文

論 文 内 容 の 要 旨

本申請論文は、重心エネルギー200GeVの偏極陽子陽子散乱における、中性 π 中間子のDouble Helicity Asymmetry A_{LL} の測定に関するものである。陽子陽子衝突において中性 π 中間子の A_{LL} を測定することにより、陽子内のグルーオンのスピン偏極度に対する情報を得ることができる。陽子を構成するパートンの陽子スピンへの寄与については、これまで主に偏極深非弾性散乱実験（偏極DIS実験）によって行われてきた。偏極DIS実験では、電荷を持つパートンであるクォークと反クォークの寄与についての情報が得られるが、実験の結果、それらは陽子のスピンの約25%しか担っていないことが判明した。それ以来、電荷を持たないグルーオンの陽子スピンへの寄与を調べることは陽子の構造の研究において主要な目的の一つとなっている。陽子同士の衝突ではDISとは異なり、陽子内のグルーオンが直接的に反応にかかわる。このため、陽子衝突を用いた測定は、陽子内グルーオンの偏極度 ΔG を調査するのに有力な手段であると考えられている。とりわけ中性 π 中間子の生成段面積は大きいので、その A_{LL} を高い精度で測定することができる。

中性 π 中間子の A_{LL} の測定は米国Brookhaven国立研究所のRHIC加速器の偏極陽子ビームを用いて、PHENIX実験において行った。測定された中性 π 中間子の横運動量 p_T は0.5～9.0GeV/c、pseudorapidityは $-0.35 \sim 0.35$ である。実験では、中性 π 中間子の崩壊によって生成される2つの光子をPHENIX検出器のセントラル領域に設置されている電磁カロリメーターで検出した。それらから不変質量を再構成することにより、中性 π 中間子を同定した。電磁カロリメーターには、高エネルギーの光子を検出するためのトリガーが装備されており、それにより高い p_T の中性 π 中間子を効率よく収集することができる。データは2005年に取得し、最終的に 2.3pb^{-1} の積算ルミノシティのデータを解析に用いた。データを取得した期間のビーム偏極度は平均で約50%であった。PHENIX実験では、2003～2004年に取得したデータを用いた中性 π 中間子の A_{LL} の結果をすでに発表している。それらと比べて、2005年には、 A_{LL} に対するFigure-of-Meritで約25倍の統計を得た。それにより、 A_{LL} の精度が向上し、より高い p_T での情報を得ることも可能となった。

測定された A_{LL} は測定された p_T の領域で、実験の誤差範囲内でゼロであった。 A_{LL} の精度は1.0～1.5GeV/cの p_T ビンで0.0017、7.0～9.0GeV/cの p_T ビンで0.0257となった。系統誤差は中性 π 中間子の統計誤差に比べて、十分小さいと見積もっている。申請者達の測定結果を、いろいろな ΔG をインプットとして用いた理論計算と比較した結果、全てのグルーオンが陽子スピンと平行、もしくは反平行に偏極しているモデルはデータにより棄却された。また、測定された A_{LL} から ΔG を抽出する方法についても簡単なモデルを用いて議論し、それにより、申請者達のデータは過去の偏極DIS実験によって判明している ΔG の取り得る範囲を、測定の運動領域に対応するBjorken x の領域で、半分にも制限することが可能であることが分かった。この結論は偏極DISの実験結果に申請者達の結果を加えたGlobal Analysisの計算によっても示されている。

また、 A_{LL} に加えて、Single Helicity Asymmetry A_L 、Double Transverse-Spin Asymmetry A_{TT} も同時に測定し、それ

らの結果は測定誤差の範囲内でゼロと一致した。このことは理論計算の予想とも合っている。

論文審査の結果の要旨

本申請論文は、陽子のスピン構造の研究を目的とする高エネルギーの偏極陽子陽子衝突における中性 π 中間子生成断面積のスピン平行反平行非対称の測定に関するものである。

申請者等は米国Brookhaven国立研(BNL)のRHICと呼ばれる衝突型加速器で、スピン偏極陽子を加速し重心エネルギー200GeVで衝突実験を行った。これは偏極陽子衝突実験としては最高エネルギーでの実験である。申請者はそのなかでPHENIX検出器を用いて特に中性 π 中間子の包括生成反応に着目して、その断面積のdouble helicity asymmetry (A_{LL})を高い精度で横運動量 p_T を9.0GeV/cまで測定することに成功した。このような高い横運動量まで A_{LL} を測定したのはこれまでで初めてのことである。偏極レプトンビームによる深非弾性散乱実験により陽子のスピンにはクォークのスピンがほとんど寄与していないという“スピンの謎”が問題となり、グルオンのスピンの陽子スピンへの寄与の測定が切望されて久しい。この中性 π 中間子の測定はこの問題に答えるはじめての有意の結果をだしたという意味で高く評価できるものであり、国際会議などでも大きな注目を浴びた。

申請者はそのために、主要検出器である電子カロリメーターを使ったトリガーシステムの調整を行い、電磁カロリメーターの膨大なデータの解析を行い、中性 π 中間子生成反応の A_{LL} を求めた。またスピン偏極非対称測定にともなう誤差についてさまざまなチェックを行い、その誤差の評価を行っており信頼度の高いデータとなっている。実験そのものは多くの研究者による大規模な国際共同実験であるが、この中性 π 中間子生成反応の A_{LL} のデータを抽出することについては申請者が中心となって行ったものであると認められる。

得られた A_{LL} の値は誤差の範囲でゼロとconsistentであった。申請者はこの結果から、モデルを使って陽子内のグルオンのスピン偏極度 ΔG をBjorken X の関数として求めた。結果は誤差がまだ大きいとはいえ ΔG の値をはじめて有意な範囲に制限したもので高く評価できるものである。またこの実験結果をふくむ理論家によるglobal analysisの結果も申請者のモデルをつかった ΔG の結果とconsistentである。まだ誤差は大きいですが、今後予定されている実験でデータが増え統計精度がよくなることで、中性 π 中間子生成反応により標準値とされている ΔG が正しいかどうか判断できる見通しをつけたことにも意味がある。

また中性 π 中間子生成について、さらにパリティの破れに起因するsingle helicity asymmetry A_L と横方向のdouble spin asymmetry A_{TT} についてもはじめてのデータを得ている。結果は値としては誤差内でゼロであり、予想どおりではあるが、高エネルギー反応のスピン現象について新たな実験的知見を与えたものとして評価に値する。

以上申請論文は特に陽子のスピン構造に新たな知見を与えたものとして高く評価できる。

なおこの実験の主要な結果については、すでにPhysical Review誌に掲載されている。

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。