

氏 名	とがわ まなぶ 外 川 学
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 3243 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 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	Measurements of the leading neutron production in polarized pp collision at $\sqrt{s}=200$ GeV (重心系エネルギー 200GeVでの偏極陽子衝突における、前方中性子測定)
論文調査委員	(主 査) 教 授 今 井 憲 一 教 授 笹 尾 登 准教授 中 家 剛

論 文 内 容 の 要 旨

本申請論文は、高エネルギースピンの偏極陽子衝突における前方中性子生成のスピンの非対称の発見とその解釈についての研究をまとめたものである。米国ブルックヘブン国立研究所にある、Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) では、世界初の偏極陽子同士の衝突（重心系エネルギー 200 GeV）により、スピンをプローブとした核子構造の研究を行っている。この研究には衝突点における陽子ビームの偏極方向を理解することが必要不可欠であり、そのためには偏極方向に敏感な測定量が必要である。測定量として、例えば生成粒子の偏極分解能 (A_N) があり、有限な A_N を持つ生成粒子を探すべく、2001-2 年にかけて RHIC の 12 時の衝突点で実験を行った (IP12 実験)。

候補となったのは、フェルミ研究所で観測された偏極陽子衝突における前方生成パイ中間子の大きな A_N であり、偏極度計の設置予定場所である超前方領域 (0 ± 2.8 mrad) と同じ領域に検出器を設置し測定を行った。検出器上流には陽子ビームを曲げるためのマグネット (DX マグネット) が置かれており、陽子衝突から発生する荷電粒子は進入できず、中性粒子の γ 、中性子を測定することになる。検出器は中性パイ中間子 (π^0) の崩壊粒子である二つの γ をとらえるため、電磁カロリメーターベースで設計されたが、 γ を精度良く識別することにより、中性子にもある程度感度を持つ検出器であった。観測した γ 、 π^0 の A_N は統計誤差の範囲内でゼロであったが、予期していなかった中性子に大きな A_N 、およそ -10%，が観測された。この発見により、陽子ビームの衝突点における偏極方向の決定 (上記) が可能となり、現在の RHIC スピンプログラムの基盤となっている。

この新しく発見された中性子の A_N が、どのように発生しているかは非常に興味深い。超前方生成中性子の生成断面積は、現在までに陽子陽子衝突 (CERN における ISR 実験, 重心系エネルギー 31~63 GeV), 陽電子陽子衝突 (HERA における ZEUS, H1 実験, 重心系エネルギー ~300 GeV) で測定されており、同じく興味深い結果が得られている。一つは x_F が 0.8 付近に大きな生成断面積が測定され、ピーク構造を持つこと。もう一つはその生成断面積が重心系エネルギーに依らずに、 x_F でスケールリングしていることである (ISR 実験)。これらをよく記述する理論モデルとして、レグジュ理論による、単パイオン交換 (OPE) モデルがある。もし、RHIC のエネルギーでも、OPE モデルが適用できるならば、次のように、発見された A_N を説明できると期待される。一般的に有限な A_N は、スピンフリップを伴う作用と、ノンフリップな作用の干渉が有限であることにより生じると考えられている。パイオン交換は、完全なスピンフリップ作用であるので、他のノンフリップなレグジュオン交換 (例えば ρ , a_2) などとの干渉で、中性子の A_N が説明可能となる。OPE モデルが RHIC エネルギーでの生成断面積を記述できるか、その測定が必要となる。

そこで RHIC での生成断面積の測定を、PHENIX 衝突点で行った (PHENIX 実験)。検出器をハドロンカロリメーターベースにし、中性子に対するエネルギー分解能を向上させることにより、生成断面積の x_F 依存性を測定した。結果は ISR 実験で観測された生成断面積と一致し、このような高エネルギー領域まで x_F での良いスケールリングを示した。また、同データを使って得られた A_N も、IP12 実験と同程度の大きさが得られた。これらの結果は、発見された A_N を OPE モデルで、定性

的に記述できることを示している。レグジュ理論の枠内で考えるならば、 A_N 測定はスピンノンフリップなレグジュオン交換に敏感な測定量であり、このような前方物理に対する更なる理解に繋がると期待される。

論文審査の結果の要旨

本申請論文は、高エネルギー陽子陽子衝突でのスピン横偏極分解能 (A_N) の測定に関するものである。申請者は Brookhaven 国立研究所 (米) の RHIC と呼ばれる衝突型加速器において重心エネルギー 200GeV での偏極陽子の衝突実験を行い、超前方方向に生成する中性子において約 10% の大きな A_N を観測した。一般に高エネルギーではほとんどの反応で A_N は小さいと考えられており、また中性子生成反応でのこのような大きな A_N はそれまでまったく予想されておらず、大きな驚きをもってむかえられた。そのとき用いられた測定装置は基本的には電磁カロリメーターで中性 π 中間子や γ 線の測定のためのものであったが、中性子にも一定の感度を有するようにしたことが功を奏した。超前方中性子生成における大きな A_N という予想しない発見をもたらしたことは、高エネルギースピンの物理における大きな成果である。また申請者はこの実験ならびにデータ解析に中心的な役割を果たしている。

この発見により、超前方中性子の測定で RHIC の衝突点での陽子の偏極度やスピンの方向を測定することが可能となった。この発見をもとにつくられたハドロンカロリメーターベースの中性子検出器により、RHIC の衝突点でのスピン偏極方向を確かめモニターできるようになった。その意味でこの発見は RHIC における核子のスピン構造の研究などの高エネルギースピンの物理のプログラムの実験的基盤を与えた画期的なものである。

申請者はさらに、この中性子検出器を用いて PHENIX 衝突点で、その大きな A_N のメカニズムを探るべく、中性子の生成断面積と A_N のエネルギー依存性 (X_F -dependence) を測定した。その結果、生成断面積は 50GeV 近辺で以前 CERN で測定された $X_F=0.8$ にピーク構造をもつ断面積とほぼ一致し、200GeV でもいわゆる X_F スケーリングがなりたっていることを明らかにした。また A_N の値は以前の測定値と consistent で、また測定された X_F 領域では一定であった。CERN のデータは主に Regge 理論による π 交換模型 (OPE) で再現できることが知られている。200GeV での断面積がこれと一致していることは、このエネルギーでも OPE が主要なメカニズムと考えられる。 A_N はスピンフリップ振幅とスピンノンフリップ振幅の干渉項として現れる。OPE はスピンフリップ振幅をあたえるので、申請者はこの大きな A_N は OPE と他のレグジュ交換のスピンノンフリップ振幅の干渉によっている、と推論している。

申請者の RHIC における一連の実験研究は、高エネルギー偏極陽子衝突において大きな前方中性子生成の偏極分解能 A_N をはじめて発見し、さらにそのメカニズムを明らかにするうえでの重要なデータを与えたものであり高く評価できる。なおこの実験の主要な結果については、すでに Physical Letters 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。