

氏名	おかだ いいぬま ひろみ 岡田(飯沼)裕美
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第3089号
学位授与の日付	平成18年11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	Measurement of the Analyzing Power A_N in pp Elastic Scattering in the CNI Region with a Polarized Atomic Hydrogen Gas Jet Target (CNI領域(電磁気力と強い力の干渉作用領域)における、偏極水素ガスジェットターゲットを用いた陽子陽子弾性散乱反応のスピンの非対称度の測定)
論文調査委員	(主査) 教授 今井憲一 教授 笹尾登 教授 植松恒夫

論文内容の要旨

本申請論文は、100GeV/cの陽子陽子弾性散乱過程のシングルスピンの依存非対称度 A_N およびダブルスピンの依存非対称度 A_{NN} の、運動量移行の二乗 $(-t)$ の関数で $0.001 < -t < 0.032$ (GeV/c)² の範囲での精密測定実験に関するものである。この実験は、2004年春に米国ブルックヘブン国立研究所の高エネルギー重イオン衝突加速器(RHIC加速器)で行われ、100 GeV/cに加速された高エネルギー偏極陽子ビームを偏極水素原子ガスジェット標的に衝突させるものである。実験装置は偏極水素原子ガスジェット標的システムと一体型で、ビーム軸に対してほぼ垂直方向に反跳された標的陽子の運動エネルギー(0.6–17.5 MeV)、反跳角度、飛行時間をシリコン検出器で測定し、 A_N および A_{NN} を求める。又、この装置は求めた A_N を用いて、RHIC加速器における陽子ビームの偏極度の絶対値測定をする偏極度計としての役割も持ち、相対精度5%を目指している。

陽子陽子弾性散乱反応は、反応の始状態と終状態のスピンの状態により、シングルスピンフリップする散乱振幅1種(SSF)とダブルスピンフリップする散乱振幅2種(DSF)とスピンのフリップしない散乱振幅2種(NSF)の計5種類の散乱振幅で記述される。5種の散乱振幅は、 $-t$ の大部分で核力に支配されるが、我々の実験がカバーする、 $-t$ の非常に小さい領域では核力成分と電磁気力成分の強さが同程度になり、互いに干渉し、各振幅を両者の和として記述できる。この $-t$ 領域を特にCNI(Coulomb Nuclear Interference)領域と呼び、電磁気力成分はQEDで完全に記述され、NSFの核力成分は過去の実験結果とレグジュ理論により良く記述されている。しかしながら、SSFおよびDSFの核力成分については、理論的アプローチが困難であり、かつ過去の実験でも精度良く測定されていない。我々の実験は偏極ガス標的を用いることで、これまでの固体や液体標的では測定不可能であったCNI領域の A_N および A_{NN} の測定を可能にし、SSFおよびDSFの核力成分を解明するものである。

CNI領域の A_N の主要な振る舞いは、SSFの電磁気力成分とNSFの核力成分の干渉作用項で記述され、 $-t \sim 0.003$ (GeV/c)² でピーク値 ~ 0.045 を取ると理論的に予言されている。SSFの核力成分は、測定した A_N と理論的予測の差に比例する量であると考えられている。我々は、 A_N を偏極度 0.924 ± 0.018 の水素標的を用いて相対精度5%で測定し、そのピーク形状を実験的に初めて確認した。この測定結果はさきの理論的予測とよく一致し、SSFの核力の成分の大きさは、ゼロとコンシステントであると結論づけた。

CNI領域の A_{NN} は二つの項から記述される。一つはDSFの核力成分とNSFの核力成分の干渉項で、もう一つはSSFの核力成分の二乗である。 A_N の測定結果より、SSFの2乗の項は無視できる。また、過去の知見によりNSFの核力成分はよく理解されている。ゆえに A_{NN} の大きさは、DSFの核力成分の大きさを直接反映する。我々の実験結果は、 $0.001 < -t < 0.032$ (GeV/c)² の領域で $\langle A_{NN} \rangle = -0.0024 \pm 0.0015$ であり、ゼロとコンシステントである。

本実験に於ける A_N および A_{NN} 測定結果より、SSFおよびDSFの核力成分の大きさは、NSFの核力成分の大きさのそれぞれ、2%未満、1%未満であることを明らかにした。

又、偏極陽子ビームのシングルスピンの依存非対称度を、先に求めた A_N で規格化することにより、陽子ビームの偏極度測定の相対精度が30%から約8%に向上した。

論文審査の結果の要旨

本申請論文は、100 GeV/cでの陽子陽子弾性散乱の Coulomb-Nuclear Interference (CNI) 領域におけるスピン非対称の精密測定に関するものである。

この実験では、Brookhaven 国立研究所の RHIC で加速された偏極陽子ビームと RHIC 加速器のリング中におかれた偏極水素ガスジェットターゲットを用いて、ほぼ90度方向に散乱される CNI 領域の低エネルギーの陽子を silicon strip 検出器で測定している。この実験の特徴は世界最高性能といえる、ほぼ100%ちかく偏極した高密度の偏極水素ガス標的にある。ビームの偏極度は、このような高いエネルギーでは精度のよい偏極分解能のデータがないため、大きな誤差をもっている。これに対してこの偏極水素ガス標的の陽子の偏極度は2%程度の精度で決定された。このため CNI 領域の陽子陽子弾性散乱のシングルスピン非対称(偏極分解能)をこれまでになく高い絶対精度で決定することが可能となる。実験では陽子のエネルギーと速度を測定することでバックグラウンドのほとんどない、弾性散乱の高統計のデータを得ることに成功している。このことが可能となったのは従来になく wave-form analysis という信号処理法に成功したことによる。これらの高い実験技術を確認して過去のデータをはるかに凌駕する高精度のデータを得たことは高く評価できる。

この実験で得られた CNI 領域の陽子陽子弾性散乱のシングルスピン非対称は、電磁力のスピンフリップ振幅と核力のスピノンフリップ振幅の干渉で記述できるとする、従来の理論予測ときわめてよい一致をしめした。このエネルギー領域でも最近 pomeron や odderon などの reggeon による核力のスピンフリップ振幅が以外に大きいという可能性が、特に同じ Brookhaven で測定された陽子-炭素核の CNI 領域のシングルスピン非対称の測定結果から示唆されていた。より簡単な陽子陽子散乱の CNI 領域のスピン非対称が単純な理論で記述できることを示したことは、大きな意義がある。

さらにこの実験では同時にダブルスピン非対称も測定できる。その結果ははじめての測定でありゼロに近く、核力のスピンドブルフリップ振幅もほとんどゼロであることを示した。論文ではこれら二つの振幅の上限を定量的に決定しており、高エネルギーのハドロン散乱理論に新しく重要なデータを与えたといえる。

またこの実験の成功によって、待望されていた 100GeV 領域の偏極陽子ビームの偏極度の測定を精度よく行うことが可能となった意義はきわめて大きい。RHIC での偏極ビームを使った陽子のスピン構造を決定するための巨大実験装置による多くのスピン非対称の測定は、この申請論文の研究によってはじめて、目標の精度で測定できることになったからである。

本論文の主要な内容はすでにいくつかの国際会議で報告され、学術誌 (Physics Letters) にも掲載されている。

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。