

氏 名	とう じょう じゅん じ 東 城 順 治
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2844 号
学位授与の日付	平 成 16 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 Analyzing Power for Proton-Carbon Elastic Scattering in the Coulomb-Nuclear Interference Region with a 22 GeV/c Polarized Proton Beam (22GeV/c 偏極陽子ビームを用いたクーロン-核干渉領域における陽子-炭素弾性散乱の偏極分解能の測定)
論文調査委員	(主 査) 教 授 今 井 憲 一 教 授 谷 森 達 助教授 斉 藤 直 人

論 文 内 容 の 要 旨

本申請論文は、ブルックヘブン国立研究所の AGS 加速器において、21.7GeV/c の偏極陽子ビームを用いて行なわれた、クーロン-核干渉 (CNI) 領域の運動量移行における陽子-炭素弾性散乱の偏極分解能 (A_N) の測定に関するものである。本実験の目的は、スピン・フリップ振幅のハドロン成分とスピン・ノンフリップ振幅のハドロン成分の比で特徴づけられるハドロン・スピン・フリップ振幅 (r_5) を A_N により研究することと、相対論的重イオン加速器 (RHIC) における偏極陽子ビーム加速のために必要である高エネルギー陽子偏極度計の実験技術を開発することである。実験セットアップは、炭素マイクロリボン・ターゲットと左右対称の検出器アームで構成した。その検出器アームは、反跳角が $89^\circ-90^\circ$ で、運動エネルギーが 300keV から 2000keV の反跳炭素イオンのみを検出して陽子-炭素弾性散乱を同定できるように設計した。検出器系は、シリコンストリップ検出器とマイクロチャンネルプレート検出器の組み合わせで構成した。検出器系で測定された運動エネルギーと飛行時間から、検出された粒子の質量と運動量移行を求め、炭素イオンの同定ならびにバックグラウンドの評価を行った。同定された炭素イオンを、反跳角と運動量移行の相関を用いて、陽子-炭素弾性散乱からの反跳炭素イオンであること識別した。ビーム偏極度は、 $-t=0.15(\text{GeV}/c)^2$ の運動量移行における陽子-陽子弾性散乱の偏極分解能 $A_N(\text{pp})=0.040\pm0.0048$ を利用した偏極度計を用いてモニターし、かつ測定した。測定された平均ビーム偏極度は、 $40.7\pm3.6(\text{stat})\pm4.9(\text{syst})\%$ であった。CNI 領域の運動量移行 $9.0\times10^{-3}<-t<4.1\times10^{-2}(\text{GeV}/c)^2$ における陽子-炭素弾性散乱の偏極分解能を高統計精度で初めて測定し、結果は12%のノーマリゼーション誤差をもって、 $(-0.20\pm0.21(\text{stat})\pm0.25(\text{syst}))\times10^{-2}<A_N<(1.48\pm0.11(\text{stat})\pm0.12(\text{syst}))\times10^{-2}$ であった。 A_N の結果は、ハドロン・スピン・フリップ振幅がゼロの理論計算と比べて顕著な不一致を示した。 A_N から得られたハドロン・スピン・フリップ振幅はゼロではなく、 $Re(r_5)=0.088\pm0.058$, $Im(r_5)=-0.161\pm0.226$ であった。本実験で得られた r_5 の結果と過去の実験データを比較するため、フェルミ国立研究所の E581/E704 実験により測定された 200GeV/c での CNI 領域における陽子-陽子弾性散乱の A_N のデータを用いた。E581/E704 実験のデータから得られた r_5 の値はゼロと無矛盾であり、 $Re(r_5)=-0.026\pm0.041$, $Im(r_5)=0.168\pm0.333$ であった。21.7GeV/c での陽子-炭素弾性散乱における r_5 と 200GeV/c での陽子-陽子弾性散乱における r_5 の相違を、拡張した Regge 現象論の観点から議論を行い、陽子-炭素弾性散乱と陽子-陽子弾性散乱ではレジェオン交換項が異なること、ならびに、ポメロン交換とレジェオン交換の散乱振幅のエネルギー依存性が考えられることを指摘した。さらに、拡張した Regge 現象論による解釈を与えるためには、本実験の A_N のデータと本実験とは異なるビーム運動量での CNI 領域における陽子-炭素弾性散乱と陽子-陽子弾性散乱の A_N の高精度測定が必要であることを指摘した。また、本実験により開発された実験技術は RHIC における高エネルギー陽子偏極度計に適用できることを証明した。実際に 'pC CNI 偏極度計' と呼ばれる偏極度計が製作され、RHIC の加速器リングに設置された。RHIC でのビーム偏極度は、本実験で測定された A_N の値を用いて、pC CNI 偏極度計で測定されている。

論文審査の結果の要旨

申請者は、高エネルギーでの陽子-炭素核弾性散乱の偏極分解能 (A_N) の測定を初めて行った。特に、超前方のクーロン核干渉 (CNI) 領域の散乱に注目したので、実験的には反跳する炭素核を測定することで、弾性散乱を同定しなければならない。とりわけ、CNI 領域では、反跳炭素核の運動エネルギーが数百 KeV と小さく、その検出は容易ではない。申請者は、京都大学のタンデムバンデグラフ加速器を用いて、陽子-炭素核弾性散乱を行い、想定される低エネルギーの反跳炭素核の検出に成功した。

この加速器を用いて検出器の開発研究を行った上で、BNL-AGS の 22GeV の偏極陽子ビームを使って、陽子-炭素核弾性散乱の偏極分解能 (A_N) の測定に成功した。表面の dead layer の極めて少ないシリコンストリップ検出器やマイクロチャンネルプレートを開発して測定に成功した。さらに陽子シンクロトロン加速器内に、10 μ m 巾、10 μ g/cm² 厚という炭素標的を出入して測定する、という実験技術上の大きな困難を克服して、この測定に成功したことは大いに評価できる実験業績といえる。

この結果として、22GeV での CNI 領域の陽子-炭素核弾性散乱の偏極分解能としては、たかだか1.5%程度ではあるが、ゼロではない有限な値であることがわかった。このことで、この陽子-炭素核弾性散乱を、高エネルギー偏極陽子ビームの偏極度を測定するためのモニターに使えることが証明された意義は大きい。RHIC での世界ではじめての偏極陽子陽子衝突実験のプロジェクトは、申請論文の成果のおかげで成功したといっても過言ではない。この結果を受けて、RHIC に陽子炭素核弾性散乱を用いる偏極度計が製作され、RHIC での偏極陽子の加速の成功に本質的な役割を果たしたのである。

申請者の得た偏極分解能の測定結果は、有限ではあるが予想より小さかった。論文では、この理由として、ハドロンスピンフリップ振巾 (r_0) がゼロでないことを明らかにし、 r_0 の値を初めて求めている。この結果は、高エネルギーのハドロン反応のメカニズムについて新たな知見を与えた。これに刺激されて、理論的な研究が最近多く行われるようになり、申請論文の先駆的意義を示すものである。以上、本申請論文は、高エネルギー偏極陽子の偏極度測定という実験技術においても、ハドロン反応の物理においても、新しい、しかも確実な発展をもたらした意味で高く評価できる。なお論文の主な内容はすでに Physical Review Letters 誌に公表されている。

よって、本申請論文は博士(理学)の学位論文に値するものと認める。

また主論文および参考論文に報告されている研究を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。