

機関番号：11501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009 ~ 2010

課題番号：21740156

研究課題名(和文) 大強度ハドロンビーム対応型偏極陽子標的の開発

研究課題名(英文) Investigation of polarized proton target for high intensity hadron beam experiment

研究代表者

堂下 典弘 (DOSHITA NORIHIRO)

山形大学・理学部・助教

研究者番号：90451658

研究成果の概要(和文): 核子内のスピン構造を調べるために欧州原子核研究機構の COMPASS 国際共同研究グループが計画している大強度ハドロンビームを用いた偏極ドレル・ヤン実験のための偏極陽子標的の開発を行った。偏極標的物質としてアンモニアを用いて動的偏極に必要な不対電子量を調節し、ポンプシステムの向上、マイクロ波の最適化をはかる事で、SMC 実験の時と最高偏極度はそれほど変わらず、偏極度の緩和時間が 10 倍長い標的物質を得ることができた。

研究成果の概要(英文): The COMPASS collaboration at CERN has a future program of polarized Drell-Yan experiment with a high intensity of hadron beam to study the nucleon spin structure. I investigated a solid polarized proton target, which can be used under the high intensity hadron beam. After some of tests, the NH<sub>3</sub> target material reached the maximum polarization as much as in the SMC experiment and had a 10 times longer relaxation time of the polarization by the new pump system, by optimizing the microwave power and by adjusting the value of paramagnetic centers, which needs for dynamic nuclear polarization.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：核子スピン構造、偏極標的、COMPASS 実験、ドレル・ヤン過程

## 1. 研究開始当初の背景

陽子や中性子(核子)のスピン構成粒子は、クォークとグルーオンであるが、それらがどのように核子のスピンを担っているかは未だに分かっていない。

1980年代から欧州原子核研究機構(CERN)

における EMC や SMC 実験などで得られたデータと QCD を用いた解析が行なわれ、現在では、クォークスピンの核子スピンに対する割合が 30%程度であることが分かっている。この結果は、核子スピンに対し他に大きく寄与するものがあることを意味する。つまり、グルーオンのスピ

ンか、クォークか、もしくは、グルーオンの軌道角運動量のいずれかが核子のスピンを大きく担うはずである。2000年以降、"核子スピンに占めるグルーオンスピンの割合"を調べるために CERN では COMPASS 実験、ドイツの DESY では HERMES 実験、アメリカのブルックヘブン国立研究所の RHIC-Spin での実験が行われている。

私たちの COMPASS 実験では 160GeV の偏極ミュオンビームと偏極固体核子標的との深非弾性散乱でグルーオンが直接関与する光子・グルーオン融合反応の散乱断面積のスピン依存性によりグルーオン偏極度の測定を行なった。

High-pt ハドロンチャンネルでは、世界最高精度の結果を得て、グルーオンスピン寄与が大きいことが分かってきた。つまり、核子スピンをクォークとグルーオンのスピンだけで説明できないことになる。そのため、最後の候補である軌道角運動量成分の測定を、ドレル・ヤン過程に注目して行なう。そのため、我々は、世界で初めての測定となる偏極ドレル・ヤン実験を行う準備を始めた。

## 2. 研究の目的

ドレル・ヤン過程では、クォーク・反クォークが対消滅しレプトン対を生成する。本研究では、 $\mu^+\mu^-$  粒子を、偏極陽子標的に入射し、ミュオン対を捕まえ、それらの方位角分布のスピン依存性を調べる。クォークの軌道角運動量成分を測定するため、標的となる陽子のスピンをビーム軸に対して垂直にして衝突させ、クォーク軌道角運動量に係するシバース分布、ボア・ムルダ分布やトランスバーシティ分布を抽出する。偏極陽子を用いてドレル・ヤン過程を調べる「偏極ドレル・ヤン実験」を行うのは CERN の COMPASS 実験以外になく、核子スピン構造解明にとって重要な役割を担う。従来のミュオンビーム + 偏極標的」の組み合わせだけでなく、「ハドロンビーム + 偏極標的」の組み合わせで生成ミュオン対の検出を行なうことができる。COMPASS は偏極ドレル・ヤン測定にユニークな環境を提供し、世界に先駆けて軌道角運動量成分の測定を行うことができる。また、深部非弾性散乱過程のシバース分布とドレル・ヤン過程のシバース分布は互いに逆符号を持つという QCD 理論の予測がある。COMPASS は 2007 年に深部非弾性散乱でのシバース分布の測定を行なった。そのため、世界で初めて同一実験でそれぞれの過

程のシバース分布を測定し QCD 理論の適性も調べる。

偏極ドレル・ヤン実験では、ミュオンビームでなく、 $\pi^+\pi^-$  ビーム(ハドロンビーム)を使用する。そのため反応数の増加と 2 次粒子の多量生成が、標的温度を上昇させ偏極度の低下を招く。大強度ハドロンビーム対応型の偏極標的の開発を行なうことが本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

偏極は、2.5T のソレノイド磁石とその磁場に合わせたマイクロ波を用いて行い、ビーム軸に対して平行に偏極方向を揃える。偏極ドレル・ヤン実験ではビーム軸に垂直方向に揃えた偏極標的が必要なため、データ収集時には 0.6T のダイポール磁石を用いる。そのためデータ収集時には偏極させることができないため、偏極度のスピン緩和時間の長い標的が必要となる。つまり、到達偏極度が高く、偏極度のスピン緩和時間の長い偏極標的物質の開発を行った。

COMPASS の冷凍機の温度は通常 60mK に保たれているが、 $6 \times 10^7$  pions/s のハドロンビームが偏極標的に持ち込む熱により約 100mK に上昇することが分かっている。このままでは、NH<sub>3</sub> の水素核において偏極度の緩和時間が速くなる。標的度の低下は実験の統計精度に大きく影響を与える。2 つの予想されるドレル・ヤンの非対称度理論と理論を区別するのに 3% の統計精度が必要とされている。この精度を得るには、NH<sub>3</sub> の水素核の偏極度 90% で 2 年間のデータ収集が必要になる(年間 100 日間)。これが、ハドロンビームからの熱流入により偏極度が低下するとより長いデータ収集期間が必要となる。

そのために以下の 3 つのことを行った。

### (1) マイクロ波の最適化

到達最高偏極度とその上昇時間は、動的偏極のためのマイクロ波の周波数やその出力強度にも大きく依存する。そのためにマイクロ波変調効果、強度の調整を行った。

### (2) 新ポンプシステムの最適化

偏極効率、緩和時間は、希釈冷凍機の温度にも依存する。そのため、冷却能力を高めるべく新たなヘリウムポンプを導入した。その運転の最適化を行った。それにより、ハドロンビームによる熱流入を効率良く取り除ける事が期待される。また、偏極度校正の精度は、直接実験結果に影響するため

重要である。このポンプシステムを導入する事により、温度が安定し、偏極度校正をより良い精度で行うこともできる。

### (3) 不対電子量の考察

1990年代にSMC実験で使用されていた信用の高いNH<sub>3</sub>を用いて動的偏極に必要な不対電子量をこれまでとは違う量で偏極度の緩和時間、到達最高偏極度とその上昇時間とを調べた。

## 4. 研究成果

(1) 偏極効率を上げるためにドイツのポッフム大学の偏極システムを用いて NH<sub>3</sub> に対しマイクロ波変調効果を調べたが、変調効果よりもマイクロ波の強度の調整が重要であることが分かった。そのため、実際の実験を想定して大強度マイクロ波を微調整できるようアッテネーターを取り付け、リモートコントロールシステムを構築した。

(2) 陽子の偏極度測定時にバックグラウンドとして想定される標的物質を収めるホルダーを陽子フリーするために様々なテフロン材質の陽子含有率の測定を行い、最大で2%程度であることが分かり、偏極度測定誤差を最小限に抑えることができたことが分かった。同時に偏極度校正時の温度をより安定にさせ、偏極度測定誤差を最小限にさせるために蒸留槽の温度を一定にするシステムを構築することに成功した。

(3) (1)、(2)を行った後、通常3割程度少ない不対電子濃度  $4 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  で 0.6T、60mK における偏極度の緩和時間は、5000時間以上であった(図1)。これは、0.5T で 500時間という過去の結果と比べると10倍程度長く偏極ドレル・ヤン実験に対してとても有効である事が分かった。長い緩和時間と短い偏極上昇時間は相反するため、最高偏極度とその上昇時間を調べた。その結果、不対電子濃度の違いに対して到達最高偏極度に違いは誤差の範囲(数%程度)であったが、上昇時間は、12時間と48時間と4倍長かった(図2)。緩和時間ほど違いが見られなかったのは、新たに導入したポンプシステムの最適化とマイクロ波照射の最適化を行った効果である。そして、週に1度、1日程度予定されている加速器のメンテナンス期間に合わせて偏極させれば、データ収集に対してほとんど影響ないと考えられる。

本研究により COMPASS グループの偏極標的が計画されている偏極ドレル・ヤン実験に

おいて実用可能である事が分かった。そして、2010年12月にCERNのリサーチ・ボードで偏極ドレル・ヤン実験が正式に承認された。

また、NH<sub>3</sub>は、従来から偏極標的物質として様々な実験に用いられているが、これまで、不対電子濃度と到達偏極度、偏極度の緩和時間は全く調べられていなかった。本研究で新たな NH<sub>3</sub> の特性を発見した事により、NH<sub>3</sub>を用いた標的物質の開発研究が今後盛んになると考えられる。

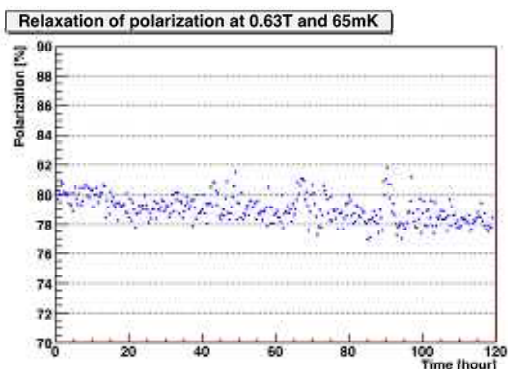


図1：0.63 T、65mK における水素核の偏極度の緩和時間測定

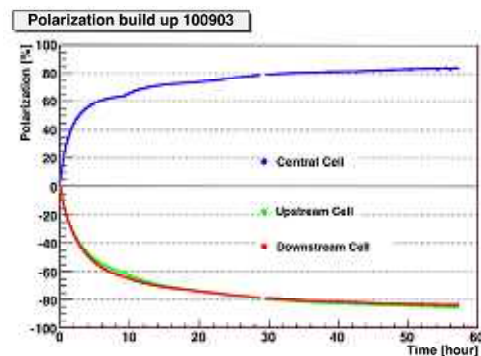


図2：水素核の偏極度の上昇曲線

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計4件)

[1] 堂下 典弘,  
“Polarized target for Drell-Yan program at COMPASS II”、  
The EU-SpinMap workshop on polarised targets,  
2010年10月10日、クロアチア

[2] 堂下 典弘、

“ COMPASS での偏極ドレル・ヤン測定のための  
のビームテストの結果 ”、  
日本物理学会、  
2010年3月22日、岡山

[3] 堂下 典弘、  
“ Transversity results and polarized  
Drell-Yan measurement at COMPASS ”、  
日米合同物理学会、  
2009年10月17日、ハワイ・アメリカ

[4] 堂下 典弘、  
“ Polarized Drell-Yan measurement at  
COMPASS ”、  
The 7<sup>th</sup> Circum-Pan-Pacific Symposium on  
High Energy Spin、  
2009年9月16日、山形

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

堂下 典弘 (DOSHITA NORIHIRO)  
山形大学・理学部物理学科・助教  
研究者番号：90451658

### (2)研究分担者

( )

研究者番号：

### (3)連携研究者

( )

研究者番号：