

機関番号： 32686

研究種目： 基盤研究（C）

研究期間： 2008～2010

課題番号： 20540297

研究課題名（和文） 核カスピフリップ振幅の原子核依存性の測定手法の確立

研究課題名（英文） Establishment of an Experimental Method to determine Nuclear Dependence of the Nuclear Spin-flip Amplitude

研究代表者

栗田和好（KURITA KAZUYOSHI）

立教大学・理学部・教授

研究者番号： 90234559

研究成果の概要（和文）：

R&D の対象として最難関の技術は光子のバックグラウンドが多い環境下での低エネルギーイオンを測定である。そのために、四重極電場で90度曲げてイオンをチャンネルトロンで捕らえる実験を行い反跳イオン検出器のデザインを完成した。現在他の予算を使い、反跳イオン検出器の建設に取り掛かっている。スピフリップの実験が実現する前に、理化学研究所において電子散乱実験に組み込みその動作確認を行う予定である。

研究成果の概要（英文）：

The most challenging part of the R&D is to realize a detector which can measure low energy ions under extreme photon background. The design of the detector was fixed to utilize a quadrupole electric field to bend the ions by 90 degrees and to guide them into channeltrons. The construction of the detector system is under construction. It will be tested for the functionality in the electron scattering experiment at RIKEN before the polarized beam will be available.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

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：ポメロン、原子核依存性、反跳イオン検出、反跳イオン検出器、核カスピフリップ

1. 研究開始当初の背景

ハドロン物理の分野ではパートンモデルと量子色力学（QCD）を用いて強い相互作用で反応が起こる現象を第一原理から説明

しようという試みが続けられている。この試みは摂動論が有効な領域（反応の強さを表す4元運動量移行 Q^2 が数 (GeV^2) 以上）においては70年代にすでに実験的に正しいことが示された。その後、主としてコンピューター

の計算力の向上によって高次の計算の飛躍的進歩によりQCDは摂動論でうまく計算できなかった領域にまで適用できるようになってきた。現在、QCDは精密科学に成長しているといつてよい。一方、小角度前方散乱の反応 (Q^2 が $<1(\text{GeV}^2)$) においてはQCD計算がいまだに開拓されていない分野で、レッジェ現象論やポメロンといわれる粒子の交換を用いて反応を理解しようという試みがなされている状況である。

しかし、90年代には世界で唯一の電子陽子コライダーであるHERA実験において、ラジラピディティーギャップ事象が10%程度含まれているということが分かった。その原因はカラーを持たない量子(ポメロン)の交換によるものと考えられている。その結果、多くの理論物理学者がポメロンを使った摂動論を用いてQCDとの関わりについて示唆に富む議論を展開している。それでも限られたデータだけで理論モデルの可否を決定することは難しく、第一原理であるQCDからこのような前方散乱を記述できるまでにはまだ程遠い感がある。より多角度から理論に制限を与えられるような精度のよいデータが世界中で渴望されているのが現状である。

米国ブルックヘブン国立研究所では相対論的重イオン衝突型加速器を利用して高エネルギーの偏極陽子衝突実験が行われている。そのビーム偏極度計の開発の際に分かったことは、pCNI弾性散乱においてはハドロニックなスピントリップ振幅がゼロではないらしいということである。これはこれまで解明されてきていなかったポメロン等を含む、新たな偏極現象の地平を与えるもので、その原子核依存性を世界に先駆けて測定することは大変有意義である。

2. 研究の目的

然るにRHICにおいては核子内のグルオン偏極度測定をおこなうという公約のためにポーラリメーターはあくまでもビーム偏極度測定の道具として使われており、CNIの物理を追求できる可能性は残念ながら低いといえる。ハドロン物理の究極の目標に貢献する陽子-陽子散乱(p-p散乱)や陽子-原子核散乱(p-A散乱)における A_N のビームエネルギー依存性と標的核の依存性を測定することは現在建設中のJ-PARCにおいて実現可能である。J-PARCの最初の実験では30GeVでの陽子加速に限られる予定であるが、将来的には偏極陽子加速や重イオン

の加速も視野に入れている。本研究が目指すものはRHICまたは理化学研究所などの現存する偏極ガスジェットターゲットを加速リング内に導入して非偏極の陽子ビームと衝突をさせその反応から出てくる反跳核を測定する手法によってアナライジングパワー A_N の測定を目指す予定である。すでに炭素原子核の測定に成功しているが今後さらに重い原子核を用いて質量数Aに対するアナライジングパワーを精査していきたいと考えている。質量数Aの依存性を抜き出すには極力Aが大きな原子核の測定が必要となるが、質量が大きければ大きくなるほどCNI領域で与えられる反跳核のエネルギーは小さくなりRHICポーラリメーターで使っているSi半導体検出器の検出下限値を下回ってしまう。これまでRHIC実験では250keVの炭素まで、立教大学のコッククロフト型加速器を用いたテスト実験では100keVヘリウムまでの測定に成功している。本研究では当面の目標としての静電アナライザーとMCPを組み合わせた装置で50keVのできるだけ重い原子核の検出を可能にする。

本研究はJ-PARCでのハドロニックスピントリップ振幅の精査を行うためのR&Dを目的とする。

3. 研究の方法

運動エネルギーが同じ原子核でもその質量が増加するとその速度は $1/2$ 乗の依存性をもって減少する。そのためにSi半導体検出器のデッドレーヤー層の影響や2次電子の平均放出数などに大きな変化が生じる可能性がある。このR&Dにおいては試作装置をまず立教大学のコッククロフト・ウォルトン型加速器(加速電圧250kV以下)を用いて軽イオン(HeやN等)でテストを行う予定であるが、同じテストを必ずより重い原子核を用いて行わなければならない。立教大学ではイオン源の制限のためにガス分子をイオン化できるが固体分子を電離することはできない。例えば室温で固体のAlなどは筑波大学にあるタンデム加速器の20MeV陽子ビームをAlフォイルに当て、弾性散乱で飛び出してくる原子核を用いて実験を行うことを考えている。筑波大学のタンデムを選定するのはRHICのSi開発時に多用して経験があることとこの実験を行うのに適した散乱槽があるためである。この手法では数種類の質量数が異なるターゲットを装着しておけば複数の原子核を一度に測定可能である。弾性散乱の利点は加速器の調整ではなく散乱角度を選ぶことによって原

子核のエネルギーを選定することが出来ることである。これによって測定可能な質量数の上限値及びエネルギー下限値を実験的に求めることが出来る。

最初に散乱で反跳を受ける原子核は 100 keV 以下の極めて小さなエネルギーを持っており一般にメーカーが市販している Si センサーでは厚いデッドレイヤーの中で止まってしまう測定は不可能である。研究代表者は RHIC ポーラリメーターの開発において米国ブルックヘブン国立研究所の測定器開発グループと共同でデッドレイヤーが薄く 100 keV 領域で使用可能なセンサーを製作した。(PRL89, 052302(2002)) これまでの我々の経験からその Si センサーで 100 keV の炭素原子核の測定に成功している。それ以下のエネルギーを持つ原子核の測定は難関ではあるが読み出し回路の時定数の最適化と Si センサーを冷す(100 keV の測定時は常温で行った)ことによって測定可能な原子核の最低エネルギーをさらに引き下げられるものと確信している。しかし 100 keV を下回るエネルギーを持つ原子の測定には Si によるエネルギー測定のみには頼ることは出来ない。そこでエネルギー測定は電場を使ったアナライザーにまかせて Si は荷電粒子の到達を知るためだけに用いることにする。イオンを擬似球型静電アナライザーでまげエネルギーを分けた後 50 kV 程度の加速電極で加速してから Si 検出器に入射してイオンの直接検出を目指す。Si の読み出し回路の時定数の最適化及び Si センサーの冷却なども同時に行う。

アナライザーのあとの加速電極法が十分な性能を示さなかった場合は RHIC ポーラリメーターの原理を明らかにした実験 E950 の MCP セットアップの転用を考えている。カーボンフォイル、静電ミラーと MCP を組み合わせることによって反跳核がフォイルからたたき出す電子を MCP で捕らえ通過時間を正確に測定することができる。本研究ではその MCP セットアップ 2 台を串刺しにして飛行時間も測定して速度の情報を得る。MCP 信号の時間差からもとまる粒子のスピードとアナライザーで得られるエネルギー情報から反跳核の核種を同定することが可能となる。

まず、アナライザーと MCP セットアップ 2 台の組み合わせた検出器系を製作し立教大学のコッククロフト・ウォルトン型加速器を用いて 50-200 keV の原子核ビームで検出器の動作テストを行う。そこでアナライザーから得られるエネルギー情報と MCP から得られる時間情報を用いて粒子の識別が

可能であることを確認する。

質量数 A の依存性を抜き出すには極力 A が大きな原子核の測定が必要となるが、質量が大きければ大きくなるほど CN I 領域で与えられる反跳核のエネルギーは小さくなり RHIC ポーラリメーターで使っている Si 半導体検出器の検出限界を超えてしまう。これまで RHIC 実験では 250 keV の炭素まで、立教大学のコッククロフト型加速器を用いたテスト実験では 100 keV ヘリウムまでの測定に成功している。本研究では当面の目標としての静電アナライザーとチャンネルトロンを組み合わせた装置で 50 keV のできるだけ重い原子核の検出を可能にする。

4. 研究成果

最大の難関は、加速器のビームパイプに直結する真空チェンバー内に設置したチャンネルトロンを光子のバックグラウンドを逃れるようにするかであった。本補助金にて作成したテストチェンバーを用いて、京都大学化学研究所の電子蓄積リング KSR でのテスト実験を行った。イオンを 90 度に 2 度曲げることによって、バックグラウンドの光子を測定邪魔にならないレベルまで低減できることが判明した。

また、当初のデザインでは、反跳核の検出と前方に散乱される粒子とのコインシデンス測定が必要であったが、そのデザインを精査し工夫を加えることで、単独で反跳核を同定しうることが判明した。

反跳核イオンを導く真空チェンバー内に分割電極対の列を配備し、振幅差がある信号を交互に印加することにより、イオンのペロシティーフィルターを実現可能であることをシミュレーションプログラムで解明し、現在他の予算を利用して実機の製作に取り掛かっているところで、2011 年度内の完成を目指している。

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)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Cross Section and Parity Violating Spin Asymmetries of W^\pm Boson Production in Polarized p+p Collisions at $\sqrt{s}=500$ GeV. A. Adare et al. including K. Kurita, 査読有, Phys. Rev. Lett. 106(2011)062001-1~4.
- ② First Demonstration of Electron Scattering Using a Novel Target Developed

for Short-Lived Nuclei

T. Suda et al. including K. Kurita, 査読有, Phys. Rev. Lett. 102(2009)102501-1~4.

③ Novel Internal Target for Electron Scattering off Unstable Nuclei

M. Wakasugi et al. including K. Kurita, 査読有, Phys. Rev. Lett., 100, (2008)164801-1~4.

〔学会発表〕(計1件)

①Development of a Recoil Ion Detector for Self-Confining RI Target (SCRIT)

日本物理学会/米国物理学会 原子核部門共同学会 栗田和好 2009・10・15, 米国ハワイ州ハワイ島 ワイコロアヴィレッジ

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗田和好 (KURITA KAZUYOSHI)

立教大学・理学部・教授

研究者番号：90234559

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし