

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22345

研究課題名（和文）偏極陽子標的を用いた重陽子-陽子散乱による三体核力研究

研究課題名（英文）Study of three-nucleon forces via deuteron-proton scattering using polarized proton target

研究代表者

渡邊 跡武（Watanabe, Atomu）

東北大学・理学研究科・特任助教

研究者番号：10882011

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：原子核において重要な役割を果たす相互作用である三体核力をより詳細に調べるため、重陽子-陽子散乱によるスピン相関係数測定を計画している。本研究では、まずこの測定に必要な偏極陽子標的の開発を行った。その結果、動的核偏極法による偏極生成に成功し、約40%の高偏極度を達成した。一方、液体窒素による冷却の長時間運用の困難さや、加速器施設でのビーム照射による減偏極効果といった課題も見られ、本測定に向けて、室温で動作可能な偏極陽子標的の開発といった改良が必要であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

原子核物理では、現在三体核力を系統的に記述する核力の記述が進みつつあり、その構築に当たっては三核子系散乱におけるスピン相関係数の高精度データが強く要請されている。本研究で開発した偏極陽子標的はこの測定に必要不可欠であり、また他の原子核物理実験にも広く応用可能である。本研究で見られた課題を克服することで、三体核力を含む高度な核力の構築や、原子核物理学の発展に資することができる。

研究成果の概要（英文）：With the aim of the investigation for the three-nucleon forces, which play an important role in nuclear properties, we plan to perform the measurement of spin-correlation coefficients for deuteron-proton scattering. In this work, we developed a polarized proton target for this measurement. As a result, we succeeded to generate the polarization with a dynamic nuclear polarization method and achieved a high polarization of about 40%. On the other hand, there were some issues such as the difficulty of long-term operation with liquid nitrogen cooling and the depolarization effect due to beam irradiation at the accelerator facility. It was found that improvements such as the development of a polarized proton target that can be operated at room temperature are necessary.

研究分野：原子核物理

キーワード：三体力 核力 偏極陽子 動的核偏極

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

核力の理論的記述には二体核力のみでは不十分であり、三核子間相互作用である三体核力の効果が非常に重要であることが明らかになっている。しかし、三体核力の寄与の大きさが理論的および実験的に証明された一方で、そのスピン依存性については未だに多くの議論の余地が残る。

2. 研究の目的

三体核力のスピン依存性に詳細にアプローチするため、重陽子-陽子弾性散乱におけるスピン相関係数測定を行う。近年飛躍的に発展しており、三体核力を含む核力の系統的な記述が可能なカイラル有効場理論に基づく理論計算との比較から、三体核力のスピン依存性を含む詳細な性質を調べる。そのために、まずスピン相関係数測定に必須な偏極陽子標的の開発を行う。

3. 研究の方法

理化学研究所 RI ビームファクトリーにおいて、重陽子-陽子散乱によるスピン相関係数測定を行うために、まず偏極陽子標的の開発に着手した。偏極手法としてはペンタセンの光励起三重項状態を利用した Triplet-DNP (dynamical nuclear polarization) を用いた。実際に偏極させる標的にはペンタセンを少量ドーブしたナフタレン単結晶を用いた。また大立体角測定を可能にするため、水平方向および垂直方向に ± 60 度の開口を持った電磁石および標的チェンバーの開発も行った。図 1 に開発した偏極陽子標的システムの概要図を示す。標的チェンバーは、冷却によって霜がつかない様、真空槽と冷却槽の二重構造とした。

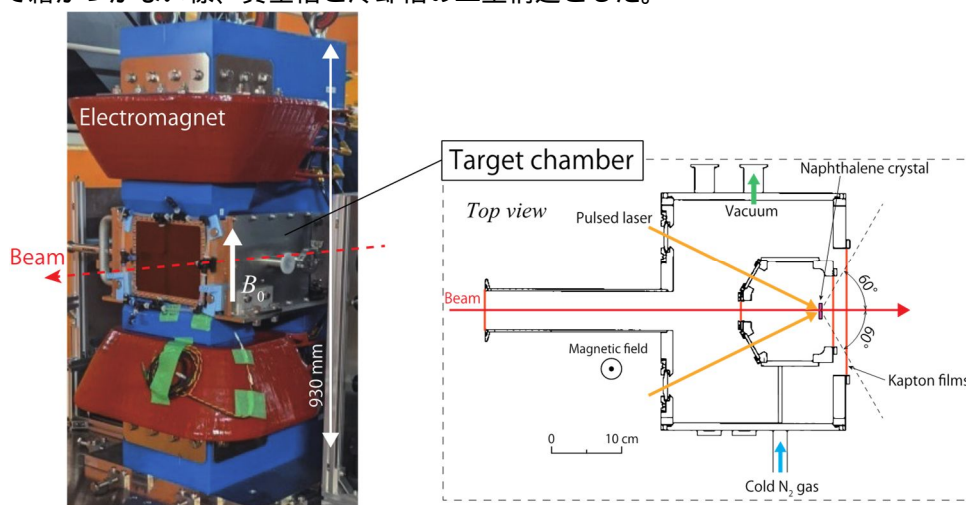


図 1: 開発した偏極陽子標的システムの写真(左)と概要図(右)。

重陽子-陽子散乱実験によって十分な精度でスピン相関係数を得るためには、偏極陽子標的の高偏極度の達成だけでなく、約 1 週間に及ぶ散乱実験での長時間の安定動作の確立や、ビームによる減偏極効果の定量的評価が不可欠である。そこで、開発した偏極陽子標的を用いて、東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターにおいて、80 MeV 陽子ビームを用いたビーム照射テストを行った。このテストでは、既知の陽子-陽子散乱における偏極分解能の値を用いた標的偏極度の測定も合わせて行った。

4. 研究成果

開発した偏極陽子標的の偏極生成を行い、結晶製作や DNP システムの最適化を行うことで、レーザー照射部分で約 40%の偏極度を達成した。しかし、これは NMR による偏極生成や偏極緩和の時定数測定から導出したもので、DNP による偏極生成が行われている結晶領域のみにおける偏極度に対応する。東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターにおけるビーム照射テストにより、標的の偏極度が $45 \pm 23\%$ と見積もられた。これは NMR 測定による偏極度評価と一致した。一方、ビームによる減偏極効果が見られ、ビーム強度が 10^6 cps 程度に制限されてしまうことも分かった。また昇華性をもつナフタレン標的の運用のために液体窒素を用いて冷却を行ったが、ビーム照射による放射線損傷により長時間の安定動作に難があることも判明した。これらを解決するためには、同じく Triplet-DNP を用いた陽子偏極が可能であり、室温で安定な p-ターフェニルを用いた標的システムの開発が必要である。p-ターフェニルを用いこ

とにより、液体窒素を用いた冷却機構が必要なくなるとともに、室温での動作によってビームによる放射線損傷が低減されることが期待される。

以上の成果は、理化学研究所で予定している重陽子-陽子散乱実験に向け、現状の偏極陽子標的の今後の改良の指標を示しただけでなく、本実験におけるビーム条件の最適化に対しても重要な情報を得ることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 A. Watanabe et al.
2. 発表標題 Development of a polarized proton target for spin-correlation coefficient measurements
3. 学会等名 24th International Spin Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 齋藤由子, 渡邊跡武他
2. 発表標題 スピン相関係数測定に向けた偏極陽子標的の評価
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 齋藤由子, 渡邊跡武 他
2. 発表標題 重陽子-陽子弾性散乱によるスピン相関係数測定に向けた偏極陽子標的の開発
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2020年～2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------