

平成22年4月28日現在

研究種目：学術創成研究費

研究期間：2007～2011

課題番号：19GS0210

研究課題名（和文） 中性子光学による基礎物理学

研究課題名（英文） Fundamental Physics using Neutron Optics

研究代表者

清水 裕彦 (SHIMIZU HIROHIKO)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・教授

研究者番号：50249900

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：実験核物理、素粒子実験、物性実験、中性子科学、中性子光学

1. 研究計画の概要

中性子を用いた基礎物理学における測定精度は、あと1桁から2桁の測定精度の向上が新しい物理の足がかりになると期待されて久しい。しかし、過去半世紀にわたって中性子ビームの強度そのものの伸びは殆ど無いと言って良い。しかし、パルス中性子源強度の100倍の増強がJ-PARCによって間もなく実現する。さらに、最近の中性子光学の飛躍的な発展は、磁気光学による精密なスピン制御や、多層膜干渉計を用いた重力などの研究の道を開いており、増強された中性子源を組み合わせることによって新たな知見に到達できる。これは物質中のナノスケールの秩序状態や低エネルギー励起の精密測定等にも質的な変化をもたらす。中性子光学を基軸として基礎物理学と物質科学の双方において、従来の測定限界を打ち破ることを目指す。

ビーム分岐・集光及び中性子スピン光学を用いた中性子崩壊の高精度測定、多層膜中性子干渉計を用いた地球重力による中性子位相の精密測定、中性子散乱断面積の精密測定による中距離相互作用の精密研究、さらに超冷中性子を用いた電気双極子能率の高精度測定に向けた中性子制御技術の基礎研究を行う。これらの基礎研究の成果は、大強度陽子加速器研究施設(J-PARC)における中性子光学基礎物理ビームライン(NOP)の建設に集約し、その成果を物質研究の手段として応用する。

2. 研究の進捗状況

NOPビームライン建設は、平成20年12月に主要部分の建設を終了し初のビームを受け入れた。このビームラインは偏極ビーム

ランチ、非偏極ビームブランチ、低発散ビームブランチを持つ。

偏極ビームブランチにおいて中性子寿命測定の準備を行なっている。磁気光学系を組み合わせて中性子バンチを用意し、 ^3He ガスを混入させたガス検出器によって、中性子崩壊電子と、中性子が ^3He と核反応する際に生じる陽子を計数し、両者の計数率の比から中性子寿命を求める。本計画の中では、第一段階の測定精度を10s、研究終了までの達成目標精度を1sに設定する。

中性子電気双極子能率は、新たな物理を感度よく探る有力な手段の一つである。測定精度の向上には超冷中性子の高密度蓄積が有効である。高密度化技術開発研究用の超冷中性子を、非偏極ビームブランチにおいて極冷中性子成分を高反射臨界角スーパーミラー減速して得る作業を進めている。

これらの他、多層膜中性子干渉計、多層膜を用いた中性子スピンエコー、磁気光学系を用いた超高スピン偏極、試料集光型極冷中性子小角散乱、グレーティングによる中性子イメージング、未知中距離力探索実験のための準備などが進められている。

また波及効果として、光学系の導入によって高性能化された小型中性子源を大学などの研究現場に配備し、新たな中性子研究体制を確立する研究を進めている。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

本課題の前提となる冷中性子ビームラインの建設は予定通り進んでおり、既に三つのビームブランチからのビームの利用が可能

となっている。中性子崩壊の寿命測定用検出器は、ビームラインへの配備を進めており、バックグラウンドの抑制の努力を行なっている。これに並行して、試験研究用超冷中性子発生、多層膜中性子干渉計、多層膜を用いた中性子スピンエコー、磁気光学系を用いた超高スピン偏極、試料集光型極冷中性子小角散乱、グレーティングによる中性子イメージング、未知中距離力探索実験のための研究及び準備が進められており、各成果は論文及び国内外での会議において発表が行なわれる段階にきた。基礎技術研究は順調に進んできており、物理研究への展開が始まっている。

4. 今後の研究の推進方策

NOP ビームラインの偏極ビームブランチを用いて、中性子寿命の測定精度目標を1 sに設定し、研究を継続する。試験研究用超冷中性子の発生とそれを用いたスーパーサーマル法を用いた超冷中性子源による中性子電気双極子能率の高精度測定のための技術開発を進める。またパルス中性子源対応型多層膜中性子干渉計の開発と、未知中距離力探索実験を進める。物質研究への波及効果として、多層膜を用いた中性子スピンエコー及び試料集光型極冷中性子小角散乱に関する協力を継続する。また高性能小型中性子源を大型中性子施設を持たない大学若しくは研究機関で実用するための協力を行なう。

5. 代表的な研究成果

(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 10 件)

- ① "Design of neutron beamline for fundamental physics at J-PARC BL05"
K. Mishima, T. Ino, K. Sakai, ..., H. Sato, ..., H. Ohmori, S. Muto, ..., M. Kitaguchi, ..., H. Funahashi, T. Shima, ..., H. M. Shimizu (査読有)
Nucl. Instr. & Meth. A 600 (2009) 342
- ② "Development of modulating permanent magnet sextupole lens for focusing of pulsed cold neutrons"
M. Yamada, ..., H. M. Shimizu, T. Ino, ..., S. Muto, ..., K. Sakai, H. Sato, ..., (査読有)
Physica B 404 (2009) 2646-2651
- ③ "Highly polarized very cold neutrons through a permanent magnet quadrupole"
K. Taketani, ..., T. Ino, ..., S. Muto, ..., H. M. Shimizu, ..., K. Sakai, H. Sato, ..., M. Kitaguchi, ... (査読有)
Physica B 404 (2009) 2643-2645
- ④ "Method for enhancing the contrast in a neutron interferometer using magnetic birefringence" (査読有)

Kaoru Taketani, Applied Optics 48 (2009) 2027-2036.

[学会発表] (計 83 件)

- ①2010/03/17-19 International Conference on Neutron Optics @ Alpes d'Huez, France
H.M. Shimizu : "UCN Transport Optics at J-PARC"
K. Mishima : A beam line for fundamental physics at J-PARC present status of BL05:NOP
K. Taketani : A high S/N ratio spin flip chopper system for a pulsed neutron source
T. Ino : Development of thin film neutron focusing lenses
- ②2009/10/12-17 Third Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and JPS @ Waikoloa, Hawaii, United States
H.M. Shimizu : "Neutron Science at J-PARC"
K. Mishima : Neutron lifetime experiment with pulsed neutron beam at J-PARC 01
M. Kitaguchi : "Cold neutron interferometry"
- ③2010/03/20-23 日本物理学会第65回年次大会@岡山大学
竹谷薫 : スピンフリップチョッパーの開発
今城想平 : J-PARC における超冷中性子生成のためのドップラーシフターの開発
吉岡瑞樹 : J-PARC 中性子基礎物理 (BL05:NOP) ビームラインの展開
山田雅子 : focusing VCN-SANS による水溶性 3 ブロック共重合体 (PEO-PPO-PEO) 溶液の温度相転移現象の観測
鈴木善明 : 極冷中性子用干渉計の設計
音野瑛俊 : 中性子基礎物理 (NOP) BL05 における中性子寿命測定 : 測定器の建設
生出秀行 : 中性子基礎物理 (NOP) BL05 における中性子寿命測定 : 検出器コミッションング

[その他]

主たる web ページ
<http://neutron-www.kek.jp/contents/nop.htm>
関連記事 1 : KEK Feature Story (2010. 01. 19)
<http://www.kek.jp/intra-e/feature/2010/neutronEDM.html>
関連記事 2 : News@KEK (2009. 11. 5)
http://www.kek.jp/newskek/2009/novdec/J-PARC_NOP.html
関連記事 3 : 高エネルギー加速器研究機構中性子科学研究系月例研究報告 2010 年 4 月
http://neutron-www.kek.jp/topics/100413_b105/100413_b105.html