

科学研究費補助金（学術創成研究費）公表用資料
〔研究進捗評価用〕

平成19年度採択分

平成22年4月28日現在

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
氏名 SHIMIZU HIROHIKO 清水 裕彦
所属研究機関・部局・職 高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所・教授



推薦の観点：創造的・革新的・学際的学問領域を創成する研究

研究の概要：素粒子物理学において、高エネルギー現象を加速器を用いて直接探索する方法の他に、不確定性関係を通じて低エネルギー現象に僅かに現れる影響を精密に測定する方法がある。低速中性子は精密測定に大変適している。中性子光学を利用して中性子の利用効率を桁違いに向上させ、現在の測定限界を超えて新物理学を探索する。その途上で得られる中性子光学技術を、中性子を用いた物質研究に応用する。

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：中性子基礎物理学 中性子光学

1. 研究開始当初の背景

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。これは基礎物理に限らず、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。中性子源増強と中性子光学高度化は、たまたま時期を同じくして日本で興った。この好機を捉えて、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研究を展開する。

2. 研究の目的

中性子光学を利用して、中性子崩壊、散乱、干渉等の基礎物理学的な研究課題に取り組む。

3. 研究の方法

中性子光学を利用した基礎物理学における測定精度の向上を、物質研究への応用を包

含する形で進める。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を、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。

4. これまでの成果

平成19年度中に遮蔽体及び上流光学系の詳細設計、平成20年度中に建設を行った。当初の提案通り、平成20年12月に主要部分の建設を終了し初のビーム受け入れに成功した。このビームラインは遮蔽体内に設置されたマルチチャンネルスーパーミラーベンダーによって三つのビームブランチに分岐しており、偏極ビームブランチ、非偏極ビームブランチ、低発散ビームブランチを持つ。この三分岐光学系及びビームラインの概観を写真で示す。



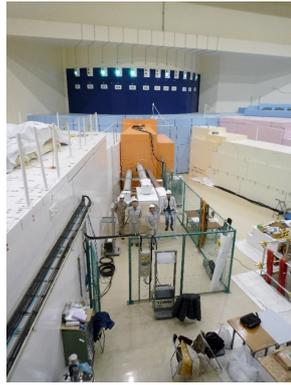
中性子の崩壊に関わる物理量の中で、中

〔4. これまでの成果 (続き)〕

中性子の寿命は弱い相互作用や初期宇宙における元素合成の基本パラメータであり、永きにわたって高精度化の努力が続けられてきた。超冷中性子の蓄積によって精度は着実に向上してきたにも関わらず、依然としてその値は測定誤差を大きく超えてばらついている。差異は原子核 β 崩壊の精密測定から導かれる弱い相互作用の強さとの整合性に影響を与えるほどに大きく、場合によっては弱い相互作用におけるクォークのフレーバー混合を与える小林-益川行列のユニタリティー性の検証や初期宇宙の元素合成の天文学的観測との整合性に影響を与えかねない。そこで、超冷中性子蓄積法に含まれる系統誤差の扱いを詳細に検証するためにも、異なる手法による高精度化を進める必要が出てきている。

測定は偏極ビームブランチにおいて中性子寿命測定の準備を開始し、現在も継続している。パルス冷中性子ビームに磁気スーパーミラーとスピンドリッパーを組み合わせてエネルギーの揃った中性子バンチを用意し、 ^3He ガスを混入させたガス検出器(Time Projection Chamber)に入射させる。中性子崩壊によって生じる電子と、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反応断面積をもとに得るという方法をとる。過去において原子炉中性子を用いて行なわれた最良の結果は $\tau = 878 \pm 27(\text{stat}) \pm 14(\text{syst}) \text{ s}$ である。パルス中性子源では単色化によるビーム減少が無いことを利用し、この精度を向上させる。超冷中性子蓄積法以外の方法で得られた最良の測定値は、冷中性子ビームからの崩壊陽子をペニングトラップで蓄積する方法であって、その値は $\tau = 886.3 \pm 1.2(\text{stat}) \pm 3.2(\text{syst}) \text{ s}$ である。これらの精度を順に上回って、最終的に超冷中性子蓄積法の精度にまで達することを目指す。本計画中では、第一段階の測定精度を10 s、研究終了までの達成目標精度を1 sに設定する。

中性子電気双極子能率は時間反転対称性を破る物理量であり、素粒子物理学に直結する。この精度向上は精密測定の前線であり、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り、加速器中性子源のスーパーサーマル冷却が有望である。我々



はJ-PARC LINAC下流にスーパーサーマル法を用いた超冷中性子源を建設し中性子の電気双極子能率を測定する実験を提案している。その実現には特有の開発研究が必要不可欠であり、国内に手軽に利用できる超冷中性子源が必須となる。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で超冷中性子まで減速することで実現す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ネコー、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。

また更なる波及効果として、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。

5. 今後の計画

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ネ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。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

(研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、連携研究者は点線)

"Design of neutron beamline for fundamental physics at J-PARC BL05"

K.Mishima, T.Ino, K.Sakai, ..., H.Sato, ..., H.Ohori, S.Muto, ..., M.Kitaguchi, ..., H.Funahashi, T.Shima, ..., H.M.Shimizu

Nucl. Instr. & Meth. A 600 (2009) 342

"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, ...

Physica B 404 2646-2651

"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, ...

Physica B 404 (2009) 2643-2645

"Method for enhancing the contrast in a neutron interferometer using magnetic birefringence"

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

ホームページ等

<http://neutron-www.kek.jp/contents/nop.htm>

