

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 藤家 拓大

論 文 題 目

Exploration of Fundamental Physics with Neutron Optics Using
Advanced Machining Technology

(先端的加工技術を用いた中性子光学による基礎物理の探究)

論文審査担当者

- 主 査 名古屋大学素粒子宇宙起源研究所 准教授 博士(理学) 北口 雅暁
- 委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 博士(理学) 清水 裕彦
- 委 員 名古屋大学素粒子宇宙起源研究所 教授 博士(理学) 原田 正康
- 委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 理学博士 川村 静児
- 委 員 理化学研究所 光量子工学研究センター
チームリーダー 博士(工学) 山形 豊

論文審査の結果の要旨

素粒子間の相互作用を記述する素粒子標準理論は多くの物理現象を精度良く説明しているが、強い力や重力を統一できていない、宇宙を構成するのに必要とされている暗黒物質を含んでいない、といった点で不十分と考えられており、標準理論を超える新しい物理理論が必要とされている。

低エネルギー中性子を用いた実験は、核力や重力の影響を長時間蓄積することができるため、新しい物理現象を探索するのに適している。ドブロイ波長が 1 nm 程度の中性は物質と反射や回折といった現象を起こし、光学的な制御が可能になる。この特性を利用する中性子光学は、中性子を用いた実験研究の基盤技術となっている。

申請者は先端的加工技術によって中性子光学素子を高度化し物理実験に適用することを目的として、開発と実証、さらに物理測定を行なった。第 1 に、中性子光学素子の大型化を行なった。中性子は発生源が空間的に大きいために細いビーム状に取り出すことができず、また電磁相互作用を用いて集光・偏向ができないため、素子には数 cm から数 m にまで広がった状態で入射する。一方、例えば中性子反射鏡には、1 nm 以下の平滑度と数 μ rad の平面度が要求される。本研究では、精密加工と精密計測により、全体の形状精度とマイクロな平滑性・平面性を両立した大型素子の開発を行なった。0.3 mrad の傾き誤差と 300 mm \times 70 mm の面積を持った大型平面中性子ミラーを開発し、従来は形状精度の不足から光学的制御が不可能であった波長 0.04 nm の中性子を光学的に制御できることを示した。第 2 に、中性子光学素子の形状精度の向上を行なった。中性子波動の干渉を利用した実験では、波面の乱れが実験感度を低下させる。例えば、単結晶内で中性子が多重回折した結果生じる強度分布を観測するには、中性子が通過する長さが強度分布の周期である 1 μ m 程度で均一でなければならない。本研究では、厚さ 5 mm のシリコン単結晶の、10 mm \times 10 mm の中性子照射領域にわたって、厚さの誤差を 1 μ m 以下に抑え、実際に中性子の強度分布を観測した。回折の構造因子に現れる、質量に結合する未知の相互作用の影響を探索し、その存在に、到達距離 1 nm においてニュートン重力の 10^{20} 倍という新たな上限値を与えた。第 3 に、中性子光学素子の設置精度の向上を行なった。中性子波を分割・重ね合わせる干渉計は中性子が飛行中に感じる相互作用を高感度で測定できるが、空間的に離れた素子同士に中性子波長程度の設置精度が要求される。本研究では、レーザー光学に用いられる光学基板と調整装置を中性子光学素子に適用することで、30 nm 程度の精度で素子を設置することを可能にした。パルス中性子ビームを用いた従来にない干渉計を構築し、各種原子核の中性子散乱長を高精度・高効率で測定できることを示した。

本研究によって、先端的加工技術によって中性子光学素子の性能を向上させることに成功した。また実際に標準理論を超える物理の探索において新しい制限を与えることに成功した。これらは将来の中性子利用実験の基盤をなす価値の高い研究である。以上の理由により、申請者は博士(理学)の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。