

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	せき よしちか 關 義親
学位 (専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻
(学位論文題目) Multilayer Neutron Interferometer with Complete Path Separation (2 経路完全分離型多層膜中性子干渉計)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 永江 知文 教授 中家 剛 教授 清水 裕彦 教授

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	關 義親
論文題目	Multilayer Neutron Interferometer with Complete Path Separation		
(論文内容の要旨)			
本申請論文は2経路を空間的に完全分離する新たな多層膜中性子干渉計の研究についてまとめたものである。 中性子干渉計は中性子波を振幅やスピン成分に基づいて2経路に分波し、それぞれの経路上における相互作用の違いを分波の重ね合わせによって生じる干渉縞の位相差として検出する。中性子は核力・重力・磁気相互作用をする粒子であり、中性子干渉法はこれらの微小相互作用が波動関数におよぼす影響や、量子力学に特有の幾何学的効果による位相差を検証するのに有力な手法である。干渉計が検出する位相差は中性子波長と相互作用距離に比例するので、長波長中性子に適用できる大型干渉計が高感度の装置となる。 冷・極冷中性子を反射することができる多層膜ミラーは大型長波長中性子干渉計を実現しうる光学素子のひとつである。これまでに、多層膜ミラーとエタロンとよばれる超高平面度基板を組み合わせたビームスプリッタ (ビームスプリッティングエタロン; BSE) が開発され、2個1組のBSEを用いてJamin型干渉計が実証された。しかし、この干渉計では2経路はほとんど重なっており、適用可能な実験に制限があった。そこで、申請者は2経路を空間的に分離することができる従来の約20倍のギャップをもつ大型BSEを新たに製作して、干渉計の構築を行った。 開発した干渉計の実証実験は、日本原子力研究開発機構 (JAEA) の定常炉JRR-3における単色冷中性子ビームラインMINE2で行った。中性子ビームの中心波長は0.88nm、波長分散は半値全幅で2.7%であった。BSEのギャップ長に比例してアラインメント精度、防振要求は厳しくなるが、レーザーを用いたBSEの角度調整や除振台の設置などによりこれらの困難を克服した。まず、BSE間のビームプロファイルをスキャンし、干渉計の2経路が中心間距離 $328 \pm 9 \mu\text{m}$ を隔てて空間的に分離できていることを確認した。つづいて、スピンスリッパの振動磁場位相を位相シフタとして最大コントラスト67%の明瞭な干渉縞を観測することに成功した。ここで、2個のBSE間距離は300mmであった。また、片方の経路を閉じて干渉が消失することを確認し、この干渉縞が空間的に分離した2経路から生じたものであることを示した。さらに、片方の経路にシリコンの板を位相物体として挿入し、干渉縞のエンベロープが移動することを多層膜干渉計で初めて確認した。測定された干渉縞には位相ドリフトが見られたが、位相シフタのゼロ点での中性子計数を用いて位相の較正を行い、総統計 1.5×10^5 中性子計数/49.4hの測定で、位相決定精度 $\pm 2\pi \times 0.005 \text{ rad}$ が達成可能であることを実証した。 この干渉計により、片方の経路のみに位相物体を挿入したり、2経路の間に装置を挿入したりするなどのこれまでの多層膜干渉計ではできなかった配置での実験が可能になった。また、重力に起因する位相差など2経路が囲む面積に比例する物理量に対しては、従来から約20倍の感度向上が得られた。			

(論文審査の結果の要旨)

この研究は、冷中性子に対する新しい大型多層膜干渉計を開発し、中性子の二経路を完全に分離して干渉計として働かせることに世界で初めて成功したものである。これまでも多層膜中性子ミラーと超高平面度基板エタロンとを組み合わせた中性子ビームスプリッターが開発されてきていたが、その大きさが十分でないため、分離された二経路の中性子ビームがほとんど重なった状態であり、干渉計として適用できる条件に大きな制限があった。本研究では、従来に比べて約 20 倍の $189\mu\text{m}$ ものギャップを持った大型の中性子ビームスプリッターを開発し、この制限を克服した。二経路を完全に分離できたことにより、片方の経路に位相制御のデバイスを挿入したり、二経路の間にデバイスを設置するなどの様々な新しい実験の可能性が切り拓かれたといえる。

一方、この大型化に伴い多層膜ミラーの設置精度や干渉計全体に対する外部振動の除去などの、いろいろな克服すべき問題点も新たに生じてきた。本論文では、それらの要求精度に関する詳細な考察をもとに、一つ一つの要因について、如何に較正していったかが詳述されている。

開発された干渉計は、日本原子力研究開発機構の単色冷中性子ビームを用いて、その実証が行われた。この中性子ビームの中心波長は 0.88nm 、波長分散は半値全幅で 2.7% である。中性子ビームスプリッターによって確かに二経路に分離できていることを、ビームプロファイルによるスキャンによって確認したところ $328\pm 9\mu\text{m}$ であることが判明した。この二経路間で位相をコントロールすることにより 67% のコントラストをもった干渉縞の観測に成功した。この干渉が確かに二経路を通った中性子によって生じていることは、片方の経路にシリコン板を挿入した際に干渉縞が移動することを観測することにより確認された。使用した 2 個の中性子ビームスプリッターは 300mm 離して設置されており、これだけの大型の干渉計により空間的に分離された二経路での干渉を観測したのは重要な成果である。

観測された干渉縞には、時間的な位相のドリフトが見られた。これについても、位相シフタの零点における中性子計数を用いた較正法を適用することにより、総統計 1.5×10^5 中性子計数/49.4 h の測定で、位相決定精度 $\pm 2\pi \times 0.005 \text{ rad}$ が達成可能であることを実証した。

この干渉計の開発は、今後の大強度中性子ビームを利用した高精度干渉実験への道筋を切り拓いたという意味でも重要な成果である。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 1 月 19 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。