

氏名	きた ぐち まさ あき 北 口 雅 暁
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2825 号
学位授与の日付	平成 16 年 5 月 24 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	Cold neutron interferometry using beam splitting etalons (ビームスプリティングエタロンを用いた冷中性子干渉光学)
論文調査委員	(主査) 教授 今井 憲一 教授 谷 森 達 助教授 齊藤 直人

論 文 内 容 の 要 旨

本申請論文は、入射中性子を空間的に分離・重ね合わせする光学素子「ビームスプリッティングエタロン」を用いた干渉光学系の開発研究について述べたものである。この研究で得られた 2 組のエタロンを用いた Jamin 型干渉計は、4 枚の独立な基板上に多層膜ミラーを形成し配置した冷中性子干渉計として世界初のものである。

中性子干渉実験は基礎物理での強力な研究手法であり、シリコン完全単結晶による干渉計は中性子波動に対する重力の影響の検出など様々な成果を挙げてきた。微小相互作用の検出感度は中性子の長波長化と相互作用する経路長の拡大によって向上するが、シリコン干渉計は結晶格子での回折を用いるために熱中性子しか扱えず、装置の大きさも作成可能な結晶の大きさに制限される。これに対し中性子に対する有効ポテンシャルの異なる物質を積層した多層膜は人工 1 次元格子として振る舞い、多層膜ミラーを用いた干渉計は長波長化と大型化を可能にする。これまでの多層膜冷中性子干渉計を構成する 4 枚のミラーは、2 枚ずつ 1 基板上に多層膜ミラー・中間層・多層膜ミラーの順に真空蒸着により積層されたペアミラーと呼ばれる素子 2 組からなる。ペアミラーは入射中性子を平行な 2 経路に分割・重ね合わせするが、蒸着による中間層形成のために 2 経路の空間的分離は $1\mu\text{m}$ 以下と小さく、応用を制限していた。2 経路の分離を大きくできれば経路の間に装置を挿入する新しい実験や相互作用の大きさが経路の囲む面積に依存するような量のより高感度な測定が可能となる。

本研究では経路の空間的分離を大きくするためにエタロンという素子を用いた。エタロンは主にレーザー光学で用いられる光学素子で平面度の良い基板を平行度良く組み合わせたものである。基板上に中性子多層膜ミラーを形成した「ビームスプリッティングエタロン (BSE)」は基板間隔が大きな中間層に相当するペアミラーとして機能する。今回格子定数約 240\AA 、複層数 8 のパーマロイ/Ge 多層膜と Ni/Ti 多層膜を持つギャップ $10\mu\text{m}$ の BSE を作成し、これを 2 つ用いた Jamin 型干渉計によってコントラスト 60% の干渉縞を得た。実験は日本原子力研究所改 3 号炉冷中性子ビームライン C3-1-2'MINE2' にて行なった。中心波長 8.8\AA 、波長分解能は半値全幅で中心波長の 2.7% である。得られた高い干渉性はエタロンの精度を保証するものであり、エタロンを用いたより大型の干渉計開発の可能性を示した。BSE の中性子波動に対する分散性の測定や横方向可干渉長の測定は冷中性子ビームの 3 次元的な干渉性の理解を確かなものとし、干渉計開発に必要な精度をビームラインから見積れることを示した。

BSE の使用で冷中性子干渉計の経路間隔の拡大による新しい実験の可能性が開かれた。Aharonov-Casher 効果の幾何学的効果の測定では相互作用させる経路の長さの拡大によって従来の 10 倍の感度向上が見込まれる。また BSE 4 組を配置すれば高分解能の中性子スピンエコー装置をコンパクトに実現できる。厚さのそろったエタロン基板 6 枚と大型高精度定盤の使用で Mach-Zehnder 型干渉計も開発でき、様々な基礎物理実験への応用が可能となる。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

申請者は、世界ではじめて 4 枚の独立の多層膜ミラーを用いた冷中性子干渉計を完成し、冷中性子の干渉を観測すること

に成功した。

中性子干渉実験はこれまでもっぱらシリコン単結晶を用いておこなわれてきたが、シリコン結晶の格子定数によって使用できる中性子の波長が制限され熱中性子に限定されている。さらに単結晶のサイズによっても制限される。したがって重力をはじめとする極微小の相互作用の検出感度をあげるうえでは限界となってきた。波長の長い冷中性子と独立の4枚のミラーを用いる干渉計ができれば、シリコン干渉計のこれらの制限を突破することができ、中性子干渉計の検出感度を飛躍的にあげることが可能となる。この意味で申請者の冷中性子干渉計の成功は、従来の干渉計の限界を超えてその検出感度を飛躍的にあげることができることを示したわけで、この分野における重要なブレイクスルーをはたした意義は非常に大きいと思われる。

エタロンと呼ばれる平面度の非常によい光学素子に多層膜を蒸着して、中性子ミラーをつくり、精度よく配置するということが基本であるが、新しい素材を選ぶなどさまざまな技術的な困難を乗り越えて、干渉計として実証したことは実験研究として高く評価できる。申請論文ではこの干渉計について、技術的な面についてもまとまった論文となっている。実証実験は原子力研究所の原子炉からの冷中性子ビームを用いて、この干渉計で60%のコントラストをもつきれいな干渉縞を観測することに成功している。この見事な結果は、明らかにさらに大型の干渉計が可能であることをしめしている。申請者はさらに、この干渉計の性能を詳しくしらべており、分散性や可干渉長の測定も行っている。このことで、冷中性子干渉計の今後の発展に必要な種々の条件や中性子ビームの性能についても重要な情報が得られたわけで、今後の冷中性子干渉計の発展の基礎を築いた研究であるといえる。

したがってこの研究成果は博士論文として十分な研究業績であると判断する。

申請論文では、この冷中性子干渉計を用いて飛躍的に発展するであろう研究としていくつかのアイデアが提案され、これらについての具体的な検討結果が述べられている。基礎物理としては、電磁ポテンシャルに関連した Aharonov-Casher 効果の観測や中性子への重力の精密測定の可能性が論じられている。応用研究としては、高分解能のきわめてコンパクトなスピネコー装置への利用が論じられている。このように開発された干渉計の応用面についても、かなりのレベルまで研究しており、その視野の広さを高く評価する。申請者の仕事はその意味で応用上有益な成果としても評価できる。

論文の主な内容はすでに *Physical Review* 誌などに公表されている。よって、本申請論文は博士（理学）の学位論文に値するものと認める。

また主論文および参考論文に報告されている研究を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。