

大学院教育支援機構 (DoGS) 海外渡航助成金 報告書

Outcome report

計画名 Plan	高強度超冷中性子源性能評価のための冷中性子束測定手法の開発
氏名 Name	藤谷龍澄
研究科・専攻・学年 Graduate school/Division/Year level	工学研究科原子核専攻 修士2回
渡航国 Country	カナダ
渡航日程 Travel schedule	2024年9月18日 ~2024年10月12日

- ページ数に制限はありません。No limits on the number of pages
- 写真や図なども組み込んでいただいて結構です。You can include pictures or illustrations.
- 各項目について具体的に記述してください。Please fill in each item specifically.
- 日本語または英語で記載ください。Please use Japanese or English.

渡航計画の概要 Outline of the travel plan

超冷中性子(Ultracold Neutrons, UCN) は運動エネルギー約300neVという極めて低エネルギーの中性子を指し、物質容器に蓄積可能である。この特徴は中性子の様々な基礎物理実験を可能にする。その中でも、特に中性子電気双極子モーメント (Neutron Electric Dipole Moment, nEDM) の探索は宇宙の物質優勢の起源の解明にむけての最も重要な物理量の一つであり、素粒子物理学において大きな意義をもつが、その測定精度は実験で使用可能なUCNの数によって限界が決まっている。TRIUMF Ultracold Advanced Neutron (TUCAN)国際共同研究では、カナダ TRIUMF研究所の加速器施設に世界最高強度のUCN源を建設中である。これにより、過去の実験よりも2桁高い統計数でのnEDM測定が可能になる。

UCN生成には、スーパーサーマル法と呼ばれる、冷中性子の超流動ヘリウム中での非弾性散乱でのエネルギー損失を利用した方法が用いられる。この反応に寄与するのは、運動エネルギー 1 meV付近の低エネルギーの冷中性子である。実際のUCN源では、重金属標的に入射された陽子ビームから核破砕反応によって発生するエネルギー 10MeV程度の高速中性子を減速材で冷却し、超流動ヘリウム領域に到達して、UCNへ変換されるが、ここで鍵となるのは約 1 meVの低エネルギーの冷中性子束の強度である。そこで我々は、UCN源の性能評価を行うために金箔による放射化法を用いて生成される中性子束を評価する方法を開発した。

図1にTRIUMFのUCN源と、冷中性子測定のレイアウトを示す。核破砕中性子生成標的は減速材下に位置する。減速材から延びるポートがあり、このポートを通して冷中性子束の評価測定を行う必要がある。ここは空間線量が高い場所で、遮蔽体の隙間で狭く、飛行時間法 (TOF法) などによる中性子スペクトルの測定が非常に難しい。そこで金箔による放射化分析法を用いる。金に捕獲された中性子は ^{198}Au からの412 keVのガンマ線によって同定することができる。金箔単体では全エネルギー領域の中性子数を評価することになるが、ホウ素 (B) を含むホウケイ酸ガラスをフィルターとして設置すれば冷中性子成分だけをカットできる。これによりホウケイ酸ガラスと厚みと放射能の関係性から冷中性子の量を評価することができる。特に、ホウケイ酸ガラスの断面積は $1/v$ 則に則ったエネルギー

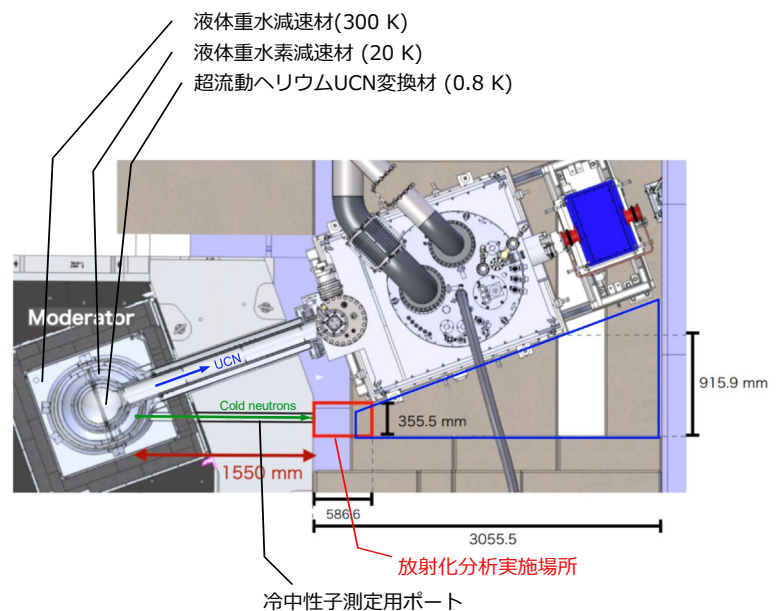


図1. TRIUMFの超冷中性子源のレイアウト。放射化分析用の薄膜設置位置を赤の長方形で示す。

ギー依存性があり、スペクトル形状によって放射化量に違いを生み出すことができる。これにより、MCNPによって予想されたスペクトル形状から求められる放射化量と実験で得られた放射化量の比較し、設計に対する性能の妥当性を評価するという計画である。

成果 Outcome

図2に放射化測定に利用した金箔を保持するための装置を示す。本渡航ではこちらの装置を用いてバックグラウンド測定を行った。本研究で使うビームラインの横には他のポートへと輸送するラインが存在し、こちらからの中性子を事前に評価した。その結果、バックグラウンドによる放射化量は数時間の照射で10~20Bq程度であり、有意にバックグラウンドが存在することが確認された。

減速材が空、液体重水素減速材有、重水と液体重水素減速材有と3つの充填状態ごとに中性子束の測定を行う予定である。今回は減速材

が空の状態の中性子束測定を行う予定であったが、ビームタイムが中止となったため行うことができず、中性子束測定には至らなかった。しかし、バックグラウンド測定を通じて本測定における手順を具体的に現場レベルで構築した。測定の手順を詳細にマニュアル化し、現場に自分がない場合でも TRIUMF スタッフの方々に依頼して測定を行えるように、図2に示す機器の組み立て手順も示した。また、交換が必要な金箔なども実験計画を立て、十分な量を用意した。金箔の放射能測定にあたっては、Ge 検出器を所有するチームから利用のレクチャーを受け、我々のチームによる金箔による放射能測定の方法、タイミングについてすり合わせを行った。解析においても、解析コードだけでなく利用マニュアルも作成し、国際共同研究グループのコラボレーションミーティングで共有することで本実験における目的、解析面からの背景、必要な情報等を議論した。

本渡航を通じて大きな国際共同プロジェクトについて体験を通して理解を深めることができた。Ge 検出器の利用をはじめ他部署とのコミュニケーションを取り、顔を覚えてもらうことで測定に関する認識を共有することができ円滑に進められるようになること、プロジェクト内でも他のメンバーと積極的にコミュニケーションをとり金箔の放射化実験のみならず測定機器の配線作業などの仕事も体験することやメンバーが製作中の機器に関して説明を受けることでプロジェクトの全体像を徐々につかんでいけること、また暮らしの面においても現地のメンバーと行動を共にして質問等をしていくことで生活習慣等を掴んでいくことができた。

今後の展望 Prospects for the future

今後 UCN 発生に向けて減速材を充填した稼働状態で冷中性子束評価を行っていく必要がある。UCN 源に充填されている減速材の状態、加速器から供給されるビーム量によって生成される冷中性子量に違いが出ると予想されており、継続的に再渡航することで、本研究の測定手法の精度を実験的に確認する予定である。また、装置の制約により放射化に利用できる照射時間には制限があるため、照射時間や放射能を測定する時間を最適化したい。これにより高い精度で冷中性子束を評価できるようにして、UCN 源の性能評価、ひいてはより高精度な nEDM 測定を実現することに貢献したいと考えている。

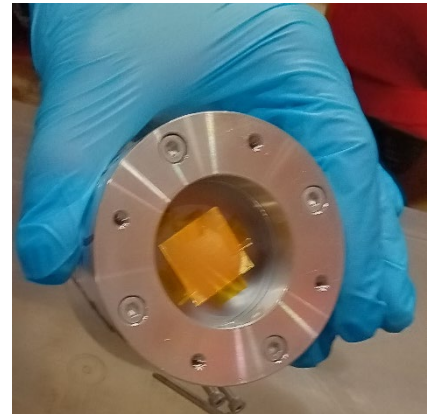
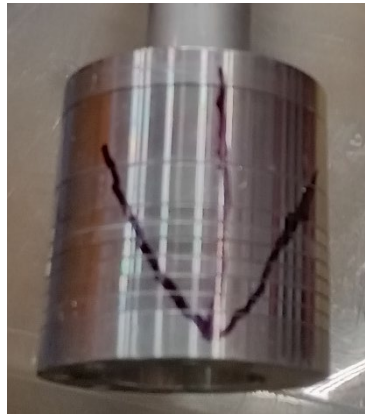


図.2. 金箔を保持する装置，および保持された金箔