

## 超冷中性子を用いた中性子電気双極子モーメントの探索実験

超冷中性子(UCN: Ultra-Cold Neutron)とは運動エネルギーが  $300\text{neV}$  以下という極低エネルギーの中性子で物質表面において全反射する。この特徴により UCN は容器の中に溜め込むことが出来る。UCN グループは UCN を用いて中性子電気双極子モーメント(nEDM)の探索実験を行っている。

図 1 に超冷中性子源の模式図を示す。UCN は陽子ビームをタングステンターゲットに当てたときに起きる核破砕反応で生じた熱中性子を冷却することで生成する。熱中性子は常温の液体重水モデレータ、 $20\text{K}$  の固体重水モデレータの順に冷却され、最後は  $1\text{K}$  に冷却された超流動ヘリウム中のフォノン散乱によって運動エネルギーを失い UCN となる。

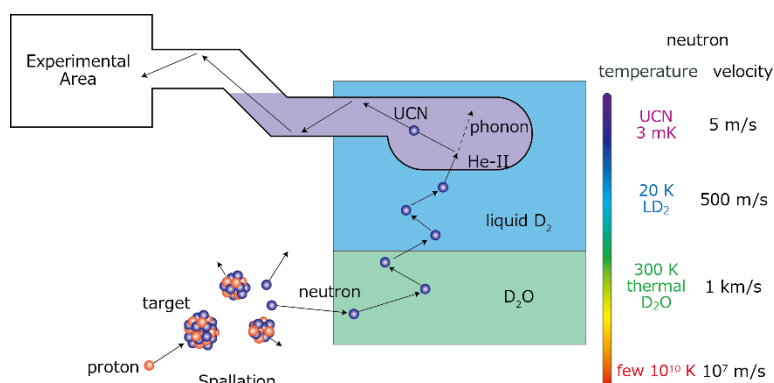


図 1 超冷中性子源模式図

UCN グループはこの UCN 源を用いて高密度 UCN を発生し、それを利用することで nEDM の測定を目指している。nEDM の測定は電磁場中に置かれた容器の中に UCN を閉じ込め、その歳差運動をラムゼー共鳴法によって観測することで行われる。現在の nEDM の探索感度は統計によって制限されている。高強度の UCN 源を開発し、現在の測定感度を 1 桁以上上回る感度での探索を目指す。

2014 年までに大阪大学核物理研究センター(RCNP)にてプロトタイプ UCN 源を開発してきたが、2015 年より UCN 源はカナダの TRIUMF 研究所メソンホールに移設された。TRIUMF 研究所では大阪大学核物理研究センターに比べ 50 倍の強度の陽子ビーム ( $500\text{MeV} \times 40\mu\text{A} = 20\text{ kW}$ ) が利用可能である。図 2 に陽子ビームライン及び UCN 源の様子を表す。既存の BL1A 上からキッカーマグネットにより、ビームを取り出し専用のビームライン(BL1U)に導く。BL1A に流れる  $120\mu\text{A}$  の陽子ビームの  $1/3$  にあたる  $40\mu\text{A}$  の陽子ビームをキッカーマグネットにより取り出すことにより、サイクロトロン稼動中は常時

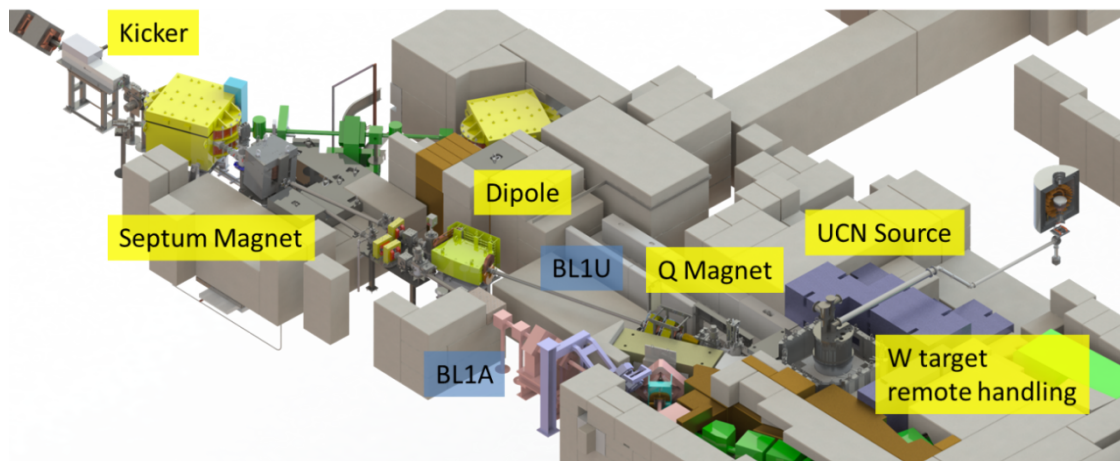


図 2 専用ビームライン及び超冷中性子源

ビームを利用可能となる。陽子ビームラインの建設は順調に進み、2016年までに完了した。2016年4月には重水モデレータがタングステンターゲット上にインストールされ、2016年11月に陽子ビームラインのコミッショニング、及び重水モデレータを用いた冷中性子生成コミッショニングを行った。2017年にはプロトタイプ UCN 源をビームライン上にインストールし、11月に TRIUMF において初めてとなる UCN 生成に成功した。TRIUMF では UCN 源用専用陽子ビームラインが整備されており、連続運転が可能であるこの試験時は UCN 源はこれまでの最長となる 18 日間の連続運転を行い、安定的に UCN を生成した。

UCN 生成実験と並行し、UCN 源アップグレードを行っている(図 3)。現在の UCN 源では TRIUMF での最大ビームパワーである 20 kW での運転時の熱負荷に対応できない。UCN 生成領域での UCN の寿命は超流動ヘリウム温度に依存するため、超流動ヘリウムを 1.0K 程度に保つ必要がある。20kW での運転を可能にするには 1.0K で 10W 以上の冷却能

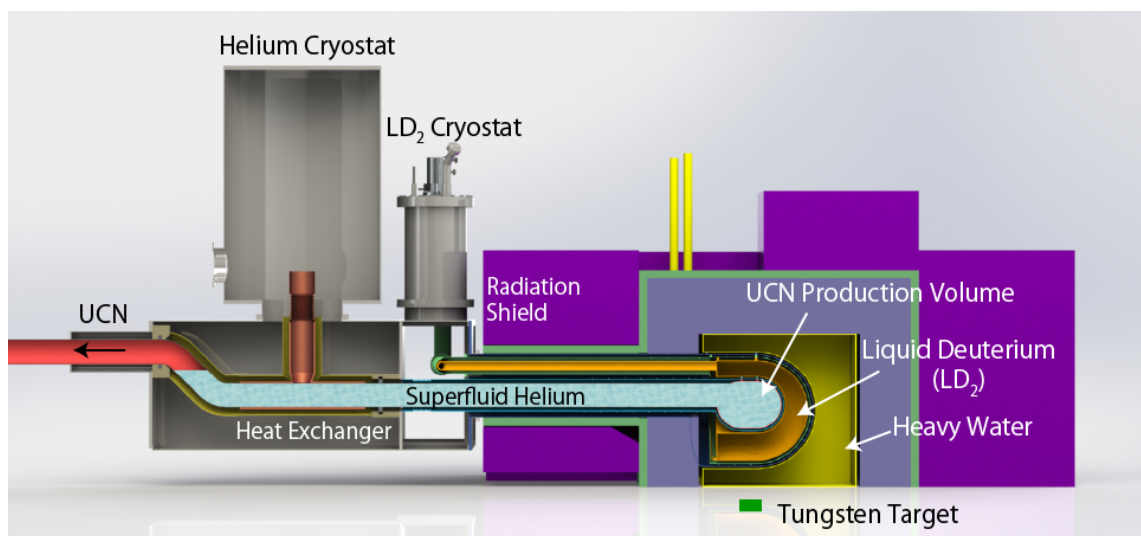


図 3 アップグレード UCN 源

力を持つヘリウム冷凍器を開発しなければならない。また、UCN 生成領域への冷中性子のフラックスを 2-3 倍へ増加させる液体重水素モデレータの開発を行っている。これらを組み合わせることにより、既存の nEDM の探索感度である  $3.0 \times 10^{-26}$  ecm を 1 桁以上上回る  $10^{-27}$  ecm の統計精度での観測が 400 日程度のビーム運転で可能となる。

2018 年 3 月に UCN 源アップグレードの **Conceptual Design Report (CDR)**である”**CONCEPTUAL DESIGN REPORT FOR THE NEXT GENERATION UCN SOURCE AT TRIUMF**”をまとめた。4 月に外部国際レビュー委員会によるレビューを開き、委員より本計画が国際的にも競争力を持ち、技術的にも実現可能であるとのコメントを受けた。