

極低温下における超冷中性子コンバーターの温度上昇を低減する熱交換器の研究

- 希釈冷凍機製造技術で熱交換器を効率化、放射線発熱による温度上昇を低減
- 12 K超流動ヘリウム超冷中性子(UCN)コンバーターによりUCNを高強度化
- 極低温下、大熱負荷に打ち勝つ「熱交換器」で基礎物理学研究の発展に貢献

研究のねらい

永久電気双極子モーメント (EDM) の存在は、CP対称性の破れを意味します。超冷中性子 (UCN) を用いたEDM探索が日本-カナダ国際共同実験 (TUCAN) で進められています。³He冷凍機によって1.2 Kに保たれた超流動ヘリウムUCNコンバーターを用い、UCNを大量発生させることでEDM観測精度は大幅に向上します。しかし、UCN生成時の10 W級放射線発熱、フィン型熱交換器では、極めて希少な³Heが大量に必要なとなるとい問題があります。本研究では、産総研の希釈冷凍機熱交換器製造技術・ノウハウ、そしてKEKの熱伝達実験・シミュレーション技術などを活用し、³He使用量を大幅に低減、放射線発熱による温度上昇を抑え、UCNコンバーターを1.2 Kに保つ熱交換器を開発します。

研究内容

スーパーサーマル法によるUCN生成時、10 W級の放射線発熱が生じます(図)。³He冷凍機とUCNコンバーターとをつなぐ「熱交換器」によりこの温度上昇を抑えます。mK温度を生成する希釈冷凍機の熱交換器は、多孔質体であるため、³He使用量は大幅に低減でき、大きな比表面積をもちます。しかし、希釈冷凍機の熱負荷に比べ10⁷倍以上の大きな熱負荷環境下にあり、さらに1 Kでは、³Heは縮退したフェルミ液体ではないため、熱交換器の最適な設計解は自明ではありません。我々は、多孔質体サンプルを作成、系統的な熱伝達係数測定、冷却シミュレーションなどを行い、UCNコンバーターに最適な熱交換器の開発を進めています。

今後の展開

- ・ 希釈冷凍機・核断熱消磁冷凍機製造技術
- ・ 特開2019-95087(2019.6.20)「熱交換器、その製造方法、および冷却装置」、Cryogenics 102 (2019)1-8
- ・ 暫定低温度目盛PLTS-2000に基づく温度センサ校正
- ・ ヘリウム3融解圧・白金NMR温度計測
- ・ 本研究の一部は以下の研究資金により行われています。

科研費 国際共同研究加速基金 国際共同研究強化(B)
代表：川崎真介(KEK), 20KK0069, 2020 - 2024
「物質優勢宇宙の起源を探る中性子電気双極子モーメントの精密観測」
科研費 基盤S
代表：畑中吉治(阪大), 18H05230, 2018 - 2022
「中性子電気双極子モーメント探索による時間反転対称性の検証」



- 研究担当：中川久司／島崎毅／川崎真介[†]／岡村崇弘[†]
- 所属：物理計測標準研究部門 量子計測基盤研究グループ
[†]高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所
- 連絡先：hisashi-nakagawa@aist.go.jp