

5-3 幅広いエネルギー領域で高スピン偏極したパルス中性子ビームを実現する — 偏極ヘリウム3を用いた高性能中性子スピフィルターの開発と応用 —

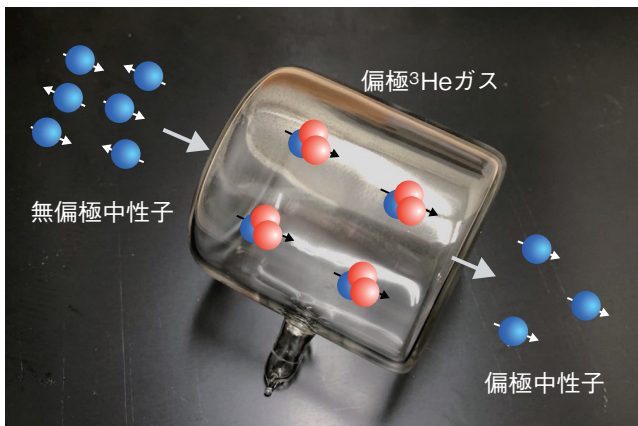


図5-5 J-PARCで作製した ^3He スピフィルター

^3He スピフィルターは中性子を吸収しない特殊なガラスセルに ^3He ガスとアルカリ金属を封入した中性子偏極デバイスです。 ^3He 原子核は片方スピンの中性のみ吸収するため、内部の ^3He ガスの核スピンを揃えた状態で、中性子ビームを透過させることで、中性子ビームのスピンを揃えることができます（偏極中性子ビーム）。 ^3He スピフィルターは、従来の偏極デバイスでは偏極が難しかった100 meV以上の高いエネルギーの中性を含め、幅広いエネルギーの中性を偏極させることができます。

中性子は電荷を持たない、透過性が高い、軽元素とも反応しやすいなどの他に、スピンを持つという重要な特徴を持っています。中性子ビームのスピンを揃える（偏極する）ことにより、磁気構造解析、物質中の水素の位置決定、磁場イメージングなど、中性子ビームの応用範囲が飛躍的に広がります。J-PARC 物質・生命科学実験施設（MLF）に代表されるパルス中性子源は原子炉中性子源とは異なり、1 meV～1 keV程度の幅広いエネルギーの中性を使用できるという特徴を持ちます。現在、広く使われている中性子偏極デバイスである磁気スーパーミラーは数十 meV 以下のエネルギーの中性しか偏極できません。

より幅広いエネルギーの中性を偏極するために、私たちは核スピン偏極 ^3He ガスをガラスセルに封入した中性子偏極デバイスである ^3He スピフィルターを開発しました（図5-5）。 ^3He スピフィルターは ^3He ガスの量を調節することにより、1 meV～10 eV程度までの幅広いエネルギーの中性を偏極することができ、また、広い立体角を持つという特徴から、試料により散乱された中性子のスピンを解析することも可能です。このデバイスでは ^3He ガスを如何に高い偏極率で偏極できるか、そして ^3He ガスの偏極を如何に中性子ビームライン上で保つかが開発の鍵となります。ガラスセル内部に不純物が存在すると ^3He の偏極度を低下させてしまうので、非常に清純な環境下でガラスセルに ^3He ガスを封入する真空システムを構築しました。また、 ^3He

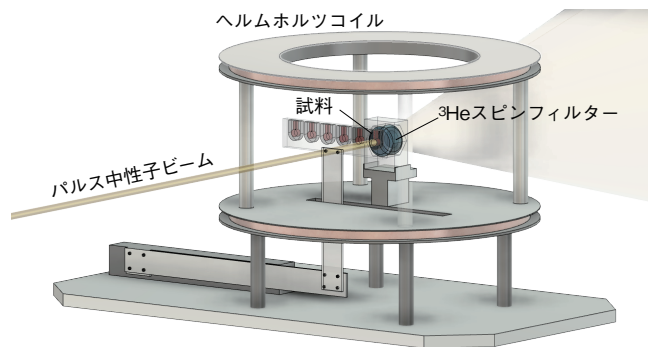


図5-6 中性子小角散乱実験における ^3He スピフィルターを用いた偏極解析装置

試料で散乱された中性子ビームのスピンを ^3He スピフィルターで解析しました。実験中は ^3He ガスの核偏極を保持するために、ヘルムホルツコイルで磁場を印加します。本装置を中性子小角・広角散乱装置「大観」（BL15）に導入することで、物質中の水素の位置決定には、パルス中性子小角散乱装置と ^3He スピフィルターを組み合わせた偏極解析法が有用であることを実証しました。

ガスを偏極させるために約100 Wのレーザー照射システムを新たに構築し、 ^3He 核スピン偏極度85%という世界最高水準の中性子偏極性能を持った ^3He スピフィルターの開発に成功しました。一方、 ^3He の核偏極はレーザー照射をやめると、ガラスセル内部の不純物の影響や、周囲の不均一磁場により徐々に偏極度が低下していきます。そこで、ガラス内部の不純物を可能な限り取り除くガス封入プロセスの考案、ビームライン上における均一な磁場環境の開発など、ビームライン上で性能良く ^3He スピフィルターを使用するための開発を行いました。

この ^3He スピフィルターをビームラインBL04、BL06、BL10、BL15、BL21に導入し、中性子ビームを用いた実験を行いました。中性子核反応測定装置「ANNRI」（BL04）では1 eV程度のエネルギーの中性を偏極することに成功し、 ^{139}La 原子核の偏極中性子吸収に伴う γ 線に角度分布が存在することを世界で初めて発見しました。また、中性子小角・広角散乱装置「大観」（BL15）では物質中の水素の位置決定には、パルス中性子小角散乱装置と ^3He スピフィルターを組み合わせた、中性子偏極解析法が非常に有用であることを示しました（図5-6）。この他にも磁気構造解析や、基礎物理実験などで ^3He スピフィルターを用いた実験が数多く行われており、今後様々な科学的成果が得られることが期待されます。

（奥平 琢也）

●参考文献

Okudaira, T. et al., Development and Application of a ^3He Neutron Spin Filter at J-PARC, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, vol.977, 2020, 164301, 8p.