

学位申請論文公開講演会

日時：2024年1月30日(火) 10:00~

申請者：伊藤 茂康 (Φ研)

場所：物理会議室 (C207)

コロナ感染拡大で急遽オンラインに切り替わる可能性があります。公聴会への参加を希望される方は主査に事前にご連絡ください。

題目：Experimental study of the electric dipole moment of neutrons by crystal diffraction

(結晶回折法による中性子電気双極子能率の実験的研究)

主論文の要旨

素粒子の標準模型の未解決問題のひとつが、物質優勢宇宙を説明できていないことである。物質優勢宇宙が存在するためには、サハロフの3つの条件が必要であり、そのうちの1つがCP対称性の破れである。しかし、標準模型で説明できるCP対称性の破れの量は、宇宙論的観測に基づく量よりも9桁少ない。このことは、未発見のCP対称性の破れの存在を示唆している。

中性子が電気双極子能率 (nEDM) を持つと、時間反転対称性を破り、CPT定理のもとでCP対称性を破る。nEDMは未だ発見されておらず、現在の上限値は、超冷中性子を使った実験で与えられた、 $1.8 \times 10^{-26} e \cdot \text{cm}$ である。標準模型が予測する値は $\sim 10^{-32} e \cdot \text{cm}$ で非常に小さく、標準模型を超える理論の中には $10^{-26} \sim 10^{-28} e \cdot \text{cm}$ オーダーの値を予測するものもある、後2桁ほど感度を向上させれば、それらに制限を与えられる可能性がある。そのためには、統計的感度を上げるだけでなく、系統的不定性の異なる手法の開発やそのものを減らす努力が必要不可欠である。

本研究では、超冷中性子法とは異なる系統的不定性をもつ、結晶回折法による nEDM の探索を実験的に研究している。結晶回折法は、結晶中での中性子の動力的回折と、回折過程で中性子が感知する非常に強い電場 (結晶内電場) を利用することが本質的である。実験は、J-PARC MLF のパルス中性子源を使って行われた。まず、パルス中性子源を使った動力的回折を検証するために、ペンデル縞の観測、回折強度分布の測定、回折強度の評価を行った。これらの実験結果により、従来の原子炉中性子研究の結果を再確認することができた。これらの結果をもとに、結晶回折法による nEDM 探索実験の統計的感度を考察し、J-PARC MLF の最高出力において 200 日で $1.8 \times 10^{-26} e \cdot \text{cm}$ に到達する可能性を示した。

また、 SiO_2 結晶を用いて、結晶内電場の測定実験を行った。結晶内電場が存在するとされる(110)面については、従来の測定値と無矛盾な結果を得ることができた。さらに、その他の結晶面についても調べたところ、これまで結晶内電場がゼロであるとされてきた(0 $\bar{2}$ 1)面でゼロでない有意な電場 ($1.4 \pm 0.3^{\text{stat}} \pm 0.6^{\text{syst}} \times 10^8 \text{ V/cm}$) を観測した。これは、空間内で短周期振動するため無視できると考えられてきた干渉項に起因するものと考えられる。結晶にペンデル干渉を乱すような $10 \mu\text{m}$ オーダーのマクロ的な欠陥が存在する場合、これらの干渉項が完全に打ち消し合わず、電場として現れると考えられる。このような結晶の乱れはnEDM探索実験の系統的不定性に繋がるので、極小化する必要がある。本来、ゼロであるべき結晶面で、このような電場が現れることは、この結晶不完全性の新たな指標として使える。

実験結果はまだ限定的であるので、干渉項の寄与を明らかにするためには、さらなる実験的・理論的研究が必要である。これにより、パルス中性子源を用いて複数の結晶面からの同時多色回折を利用してスピン回転を監視することができ、系統的な不確かさを調べることができる。