



研究課題名 新世代超冷中性子源による時間反転不変性の検証

高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授 **ますだ やすひろ**
増田 康博

研究分野：原子核素粒子物理

キーワード：超冷中性子、時間反転対称性

【研究の背景・目的】

我々が存在する宇宙では、物質のみが存在し、反物質は見つかっていない。これは、サハロフによると CP 非保存が一因している。素粒子の標準理論は、K、そして B 中間子崩壊における CP 非保存を説明できるが、この宇宙における物質の存在を説明できない。また、素粒子の階層性の問題を解決できず、重力を理論の中に取り込めない。これらの問題を解決するため、標準理論を超える様々な理論が提唱されている。

電気双極子能率 (EDM) を使えば、CP 非保存を最も精度よく検証できる。標準理論を超える新物理による EDM の予言値は、 $10^{-25} \sim 10^{-28} \text{ e}\cdot\text{cm}$ である。現在、最も精度が高い実験は、ILL (仏) の超冷中性子 (UCN) 実験である。UCN 密度 0.7 UCN/cm^3 で、EDM 上限値 $3 \times 10^{-26} \text{ e}\cdot\text{cm}$ が得られている。超対称性理論 (SUSY) は、当初 $10^{-24} \text{ e}\cdot\text{cm}$ の EDM を予言していたが、既に実験で否定されている。

最近、我々は新しい UCN 源^[1]を開発し、世界最高の UCN 密度を実現した。今回、これをさらに発展させ、 10^3 UCN/cm^3 の UCN 密度で $10^{-27} \text{ e}\cdot\text{cm}$ の EDM 測定を行い、標準理論を超える様々な理論を検証する。

【研究の方法】

EDM は、UCN を実験容器内に閉じ込め、そこに電場と微小磁場をかけ、Ramsey 共鳴を用いて測定する^[2]。系統誤差は主に幾何学的系統誤差 (GPE)^[3]で、磁場勾配に起因し、容器の直径の 2 乗に比例する。本研究では、容器の直径を ILL の $1/10^{1/2}$ にし、軸対称磁場を発生する球面コイルを用いて、EDM を測定する。軸対称磁場の場合、GPE は磁気共鳴周波数シフトから求められる。磁場のふらつきも系統誤差の原因となる。超伝導磁気遮蔽を用いて磁場を安定化し、さらに ^{129}Xe 核スピン磁束計を用いて磁場をモニターする。 ^{129}Xe では、GPE は、これまで使用されていた ^{199}Hg より小さい。

UCN 密度を上げて、統計誤差を小さくする。これまで、世界最強の UCN 源は ILL のタービン型 UCN 源であった。原子炉内の冷中性子源からの中性子を垂直上方に取り出し、重力とタービンのドップラー効果で減速し、UCN を生成してい

た。この方法では冷中性子の温度は下がらず、UCN 密度は上がらない。つまり、保存系では、Liouville の定理により位相空間密度は不変である。本研究の特徴は、Liouville の定理による限界を打ち破るため、超流動ヘリウム (He-II) をスパレーション中性子源内に設置し、He-II フォノンの位相空間を用いて、冷中性子を効率よく冷却することにある^[1]。今回、He-II 冷凍器の改良と陽子ビームの増強により冷中性子束を上げ、UCN 貯蔵寿命を増大して、UCN 密度を大幅に増強する。

【期待される成果と意義】

UCN 物理の発展には、UCN 密度増強が決め手となる。今回の EDM 測定は、標準理論を超える新物理の発展に、そして、今回開発する UCN 源は、UCN による物理実験に広く応用することができる。原子炉や大強度陽子加速器を持つ世界の主要研究機関は、新しい UCN 源を開発している。ILL や Oakridge (米) では、冷中性子源からの冷中性子をガイド管で捕らえて、遠く離れた He-II に導いている。Los Alamos (米) や PSI (スイス) は固体重水素 (SD_2) を用いて UCN 源の建設を行っている。Munich (独) や North Carolina (米) は原子炉内に SD_2 を設置しようとしている。我々の UCN 源は、最も少ない予算と中性子源出力で、最高の UCN 密度を得ることができる。既に、阪大核物理研究センターの 390 W の陽子ビームで世界最高である。この発展型である今回の UCN 源は、この分野の発展に大きく寄与すると考えている。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- [1] Y. Masuda et al., Phys. Rev. Lett. 89 (2002) 284801.
- [2] Y. Masuda et al., Phys. Lett. A364 (2007) 87~92
- [3] J.M. Pendlebury et al., Phys. Rev. A70 (2004) 032102.

【研究期間と研究経費】

平成 21 年度 - 25 年度
158,500 千円
ホームページ等

<http://fnp.kek.jp>