

【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 光格子によるレーザー冷却放射性元素の次世代電気双極子能率探索

東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター・教授

さけみ やすひろ  
酒見 泰寛

研究課題番号: 26220705 研究者番号: 90251602

研究分野: 素粒子、原子核、宇宙線、宇宙物理

キーワード: 原子核(実験)、素粒子実験、電気双極子能率、レーザー冷却、光格子、基本対称性

【研究の背景・目的】

物質優勢の宇宙はどのようにして生じたのか、本研究では、レーザー冷却放射性元素を用いて、物質・反物質対称性(CP対称性)破れの機構解明を目指す。これまで素粒子標準模型が着実に検証されながらも、反物質の消失を十分に説明するためにさらに根源的な枠組みが必要となっている。この反物質消失や階層問題の解決、ゲージ結合定数の統一、暗黒物質等を解決する候補として考えられる超対称性理論(SUSY)では、標準模型に登場する素粒子に対してパートナーとなるSUSY粒子の存在が予測され、大型加速器実験により探索が進んでいる。

これら大規模実験と相補的な役割を果たすのが、素粒子の電気双極子能率(EDM)探索による超精密低エネルギー実験である。SUSY等では、SUSY粒子の伝搬による電荷分布が素粒子に生じ、CP対称性を破るEDMが自然に出現する。EDMはSUSY粒子の質量やCP位相と相関を持っており、光格子によるレーザー冷却放射性元素を用いたEDM測定により、SUSY粒子の質量階層構造に踏み込み、反物質消失機構の理解を深める事が本研究の目的である。

【研究の方法】

電子のEDMは、原子量最大のアルカリ原子・放射性元素でもあるフランシウム( $^{210}\text{Fr}$ )において、相対論効果により、およそ1000倍程度と、最大に増幅される。このFrを電場・磁場中に閉じ込め、SUSY粒子の効果が発現する原子スピン歳差周期を精密測定してEDMを検出する。本研究では、測定精度向上限界の要因である短い相互作用時間(スピン歳差時間)を打ち破るために、「光格子」を用いた次世代EDM測定技術を世界に先駆けて確立し、現在の上限値を2桁超える測定 $\sim 10^{-29}\text{e}\cdot\text{cm}$ に着手する。

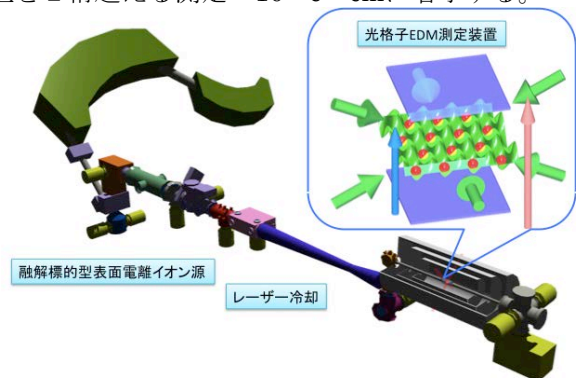


図1 レーザー冷却光格子EDM測定装置

光の定在波中で、光強度に比例した周期的ポテンシャル中に原子を格子に配置し(光格子)、隣接する原子間の衝突・相互作用を抑え、相互作用時間を格段に伸ばす。光格子Frは世界初であり、レーザー冷却Fr生成工場の開発を進めて来た本研究グループの蓄積技術を発揮する。サイクロトロンからの $^{18}\text{O}$ ビームと、高い引出し効率を実現した融解標的型表面電離イオン源に配置した $^{197}\text{Au}$ 標的との融合反応により大強度 $^{210}\text{Fr}^+$ ビームを生成する。レーザー冷却を用いて磁気光学トラップ(MOT)中に高強度冷却Fr源を実現した後、光格子に移行し、そのスピン歳差周期を精密に測定してEDMを検出する。

【期待される成果と意義】

電子EDMは、標準理論の寄与が極めて小さく新現象に敏感であり、大型加速器実験では直接観測が困難な未知粒子の質量領域を探索できる点が特色である。SUSY粒子の質量によっては既にEDMが検出される領域にさしかかる一方で、LHCやレプトンフレーバー破れの実験等からSUSYは大きなインパクトを受けている。この混沌とした状況を解明するため、標準理論が予測するEDM( $\sim 10^{-37}\text{e}\cdot\text{cm}$ )に至る10桁の広大な領域の段階的探索が重要である。光格子によるFr EDM探索実験により、カラー電荷を持たないSUSY粒子に関して、加速器実験で直接探索が困難な質量領域 $> 10\text{TeV}$ に踏み込み、SUSY粒子の質量階層構造やCP位相を精密探索し、反物質消失機構の理解を深める。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Search for a permanent EDM using laser cooled radioactive atom  
Y. Sakemi, K. Harada, H. Kawamura et al.  
J.Phys.Conf.Ser. 302 (2011) 012051
- Laser-cooled radioactive francium factory at CYRIC  
H. Kawamura, T. Inoue, Y.Sakemi et al.  
Nucl.Instrum.Meth. B317 (2013) 582-585

【研究期間と研究経費】

平成26年度-30年度  
149,700千円

【ホームページ等】

<http://cycgw1.cyric.tohoku.ac.jp/index-j.html>  
sakemi@cyric.tohoku.ac.jp