

【基盤研究(S)】

大区分B



研究課題名 光格子重元素干渉計による基本対称性破れの発現機構の解明

東京大学・大学院理学系研究科・教授 さけみ やすひろ
酒見 泰寛

研究課題番号：19H05601 研究者番号：90251602

キーワード：基本対称性、電気双極子能率、光格子重元素干渉計、レーザー冷却分子、バリオン生成

【研究の背景・目的】

ヒッグス粒子の発見によって、物質の質量獲得機構の理解をはじめ、素粒子物理学は大きく発展した。この基盤となる標準理論が着実に検証されながらも、物質・反物質対称性（CP対称性）の破れの機構は十分には説明できず、さらに根源的な枠組みが必要となっている。階層問題の解決、ゲージ結合定数の統一、暗黒物質の実体等を説明する考え方の一つである超対称性理論（SUSY）では、標準理論において登場する素粒子各々に、粒子の統計性が異なる相棒粒子（SUSY粒子）の存在が予言されている。

本研究では、CP対称性破れの起源の一つと考えられるSUSY粒子により、量子補正効果として素粒子に発現する電荷分布の偏り（電気双極子能率：EDM）を探索する。特に重い原子系（重元素）や、重元素を構成要素にもつ極性分子等の量子多体系では、相対論効果や原子核変形効果が増大し、素粒子レベルでは極めて小さいEDMが量子増幅されることが示唆されている。原子系で最大の電子EDM増幅度を有する重元素・フランシウム（Fr）の同位体を生成し、そのEDMを系統的に測定することで、反物質消失機構を調べるとともに、電弱バリオン生成のシナリオに制限をつけて、物質創成機構の解明を目指す。

【研究の方法】

SUSY粒子が生成・伝搬・消滅を繰り返す量子補正効果により、素粒子に発現するEDMを精密に検出する。EDMが格段に増幅される原子・分子等の量子多体系を量子制御し、EDMの次世代精密量子計測を実現して、CP対称性破れの起源を探る。

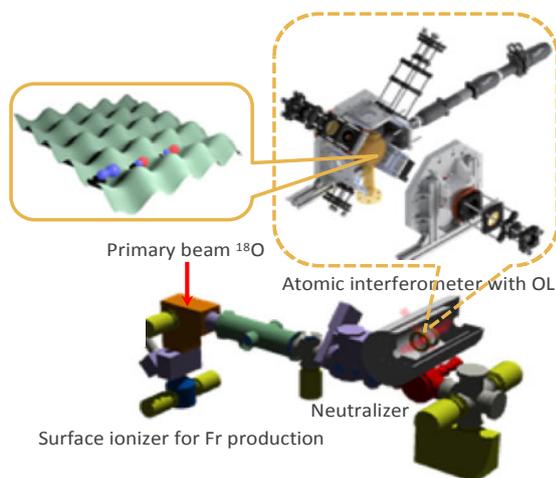


図1 光格子重元素干渉計の概観

重元素Frは、理化学研究所AVFサイクロトロンからの大強度イオンビームと標的核との原子核反応により生成し、オンラインでレーザー冷却を行う手法と、Frのgeneratorとなるアクチニウムを生成し、オフラインでの冷却Fr源を生成する手法を確立する。この冷却Fr源を光格子で形成された原子干渉計（光格子重元素干渉計）に移し、Frのスピン歳差周期を精密計測することで、 $\sim 10^{-30}$ ecmのEDM測定精度を目指す（図1に実験装置の概観を示す）。さらに、極性分子：Fr-Srのレーザー冷却・トラップ技術を開拓し、極性分子内の大きな有効電場を利用した電子EDMのさらなる測定精度向上を実現する。

【期待される成果と意義】

素粒子標準理論は様々な現象の説明に成功をおさめているが、理論が有するパラメータの数は不自然であり、より根源的な理解を目指して、現代物理が対象とすべきエネルギーの上限であるプランクスケールまで15桁に及ぶ未踏領域に対して、保存則や対称性の起源を追求する必要がある。本研究では、量子多体系を極端な量子状態に制御することで、量子補正として発現する未知の粒子や対称性破れの効果を増幅し、EDMを探索する超精密量子計測を開拓する。さらに、 ~ 10 TeV以上の重いSUSY粒子の質量階層構造の情報を得る。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Correlation Trends in the Hyperfine Structures of $^{210,212}\text{Fr}$. B.K.Sahoo, D.K. Nandy, B.P. Das, and Y. Sakemi Phys.Rev. A91 (2015) 042507
- Effective multiple sideband generation using an electro-optic modulator for a multiple isotope magneto-optical trap. A.Uchiyama, K.Harada, and Y.Sakemi et al.Review of Scientific Instruments 89 (2018) 123111

【研究期間と研究経費】

令和元年度～令和5年度
154,200千円

【ホームページ等】

<https://sites.google.com/cns.s.u-tokyo.ac.jp/fundamental-symmetry-group>
sakemi@cns.s.u-tokyo.ac.jp