

【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 ミュオン異常磁気能率の精密測定による新物理法則の探索

高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授

さいとう なおひと
齊藤 直人

研究課題番号: 15H05742 研究者番号: 20321763

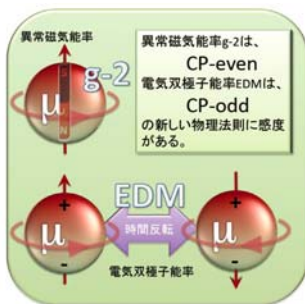
研究分野: 素粒子・原子核物理学

キーワード: 素粒子実験、基礎物理学実験、精密測定、対称性

【研究の背景・目的】

ヒッグス粒子の発見で素粒子標準模型は完成に近づく中、その枠組みでは説明出来ない重要課題が有る事も事実である。特に、粒子/反粒子の対称性 (CP対称性) の破れの本質的起源など、標準模型は答えてくれない。さらに根源的な宇宙物質像を獲得するには、標準模型を超えた物理法則 (BSM) の発見が必要である。

ミュオンは、BSM の存在を示唆する結果が報告されている数少ない例である。その異常磁気能率 ($g-2$) は、米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) で 0.54 ppm の精度で測定され、標準模型に比べ3標準偏差以上大きな値が報告されている。この差を説明するのが超対称性などの BSM である。一方で、実験で直接測定されたのは、実は $g-2$ と電気双極子能率 (EDM) の効果の合算であり、実験値と標準模型の差の、少なくとも一部を有限な EDM に依るものと考えられる事もできる。静磁場におけるスピンの歳差周波数ベクトルは以下の式で表される。



$$\vec{\omega} = -\frac{e}{m} \left[\left(\frac{g_{\mu} - 2}{2} \right) \vec{B} + \left(\frac{\mu \text{EDM}}{2} \right) \vec{\beta} \times \vec{B} \right] = \vec{\omega}_{g-2} + \vec{\omega}_{\text{EDM}} \quad (1)$$

つまり、ミュオンを静磁場による周回軌道に導入すると、 $g-2$ は軌道平面内の歳差運動を生み、EDM は面内から立ち上がろうとする回転を生み出す。BNL の実験では ω 全体が測定され、EDM の効果を無視できるとして $g-2$ を抽出し、それが標準模型からずれていると主張している。我々は、 $g-2$ と EDM を同時測定する新手法を提案し、この実験で実現する。

【研究の方法】

本研究では右図のように、極冷ミュオンビームを 300 MeV/c まで加速し、3T の超精密磁場に入射、スピン歳差を測る。また、前段階ではシリコン検出器を使用して正ミュオンと電子の束縛状態であるミュオニウムの超微細分裂 (HFS) を測定する。

極冷ミュオンビームは、実験室に引き出した表面ミュオンビームを一旦物質に止めてミュオニウム (Mu) を生成し、真空中に熱拡散してきた Mu をレーザー

でイオン化し、残った μ^+ を加速することで得られる。「停止」と「熱拡散」を用いることで、圧倒的に冷えたミュオン源を実現している。我々は、本研究の準備研究において、従来の 10 倍の Mu 収量を得る手法の開発に成功している。この実験の遂行には、大強度の表面ミュオンビームが不可欠である。世界でも有数の大強度加速器施設を用いた研究であるので他の追従を許さないという意味でユニークである。

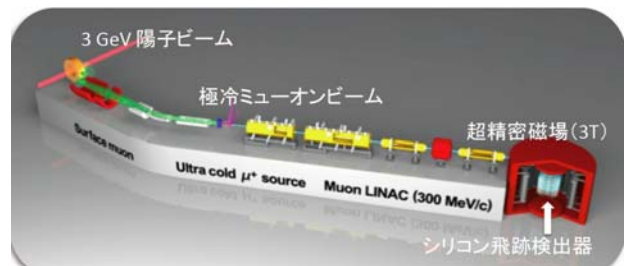


図 本実験の概念図

【期待される成果と意義】

$g-2$ および EDM は、既に BSM を考える上で強力な制限を与えている。今後の結果が「未発見」となっても更に強い制限となることは疑いの余地がない。発見があった場合は、 $g-2$ 、(CP-even)、EDM (CP-odd) どちらに発見が現れたかにより、BSM を構築する際の強力な指針を与えることとなる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- "A novel precision measurement of muon $g-2$ and EDM at J-PARC", N. Saito for J-PARC $g-2$ /EDM Collaboration; AIP Conf.Proc. 1467 (2012) 45-56
- "Enhancement of muonium emission rate from silica aerogel with a laser ablated surface" G.A. Beer, et al; PTEP 2014 (2014) 091C01
- 「ミュオン粒子に表れた矛盾」日経サイエンス 2014 年 4 月号; 中島林彦 (編集) 協力 齊藤直人、森俊則

【研究期間と研究経費】

平成 27 年度 - 31 年度 155,700 千円

【ホームページ等】

<http://g-2.kek.jp/gakusai/>