

多素子TES型マイクロカロリメータで拓くミュオン原子分子の物理

中部大学 岡田信二

我々は、従来の半導体検出器より一桁以上優れたエネルギー分解能を持ち、検出効率も兼ね備えた革新的X線検出器「多素子超伝導転移端 (TES) 型マイクロカロリメータ」をJ-PARC MLFに導入し、ミュオン原子分子に関する以下の3つの実験を展開している：

- (1) 「ミュオン原子X線精密分光」 - 強電場下QEDの検証 (2019-2020)
- (2) 「ミュオン原子の“電子”特性X線精密分光」 - ミュオン原子形成過程の解明 (2020)
- (3) 「ミュオン“分子”X線精密分光」 - ミュオン触媒核融合 (μ CF; Muon Catalyzed Fusion) 過程における複雑な量子力学的ダイナミクスの解明 (2022-2023)

(1)は、ミュオン原子X線からの「一本の鋭いピーク」を測定して精度良くエネルギーの絶対値を測定する実験である。ミュオン・原子核間に生じる超強電場環境における量子電磁力学(QED)の検証実験[1,2]で、近年 μ Ne原子5-4 X線(~6 keV)の高精度測定に成功した。来年度には100 keV超の高エネルギーX線が測定可能な多素子TES検出器を導入予定で、結晶分光器では不可能な領域もカバーすることで、より精緻なQED検証が期待される。

(2)は、ミュオン原子の脱励起過程の途中に放出する「ミュオン原子に束縛された電子からの特性X線」を測定した実験である。(1)の実験の過程で偶然見つかった現象で、多素子TES検出器の高いエネルギー分解能により、ミュオン原子による電子特性X線のエネルギースペクトルが、1本の鋭いピークではなく幅広い非対称な構造を持つことを明らかにした。スペクトル構造からミュオン原子形成過程における負ミュオン・束縛電子のフェムト秒ダイナミクスの解明に成功した[3]。

(3)は、共鳴励起状態にあるミュオン分子の解離の際に放出するX線の測定で、これまで未踏の領域であったエキゾチック分子の量子少数多体系ダイナミクス研究の開拓を目指す。現在、固体重水素標的システムを用いた実験準備が進行中である。このミュオン分子は、ミュオンが二つの原子核を強力に結合することで分子内核融合を起こす「 μ CF過程」において重要な役割を果たすと考えられているが[4]、これまで直接的な測定はされてこなかった。複雑な μ CFの量子力学的ダイナミクス過程の解明が期待されている。

いずれの実験も、TES同様に高いエネルギー分解能を有する結晶分光器には無かった「**分解能と検出効率を両立**」し「**広いエネルギー領域をカバーできる**」という多素子TES検出器の強みを最大限に活かした研究である。本コロキウムでは、本検出器を紹介した後、これらの3つの研究を概観し、今後の展開について議論したい。

[1] S. Okada et al., J Low Temp Phys 200, 445 (2020).

[2] N. Paul et al., Phys Rev Lett 126, 173001 (2021).

[3] T. Okumura, et al., Phys Rev Lett 127, 053001 (2021).

[4] T. Yamashita et al., Scientific Reports 12, 6393 (2022).