

超伝導X線検出器が拓くミュオンビーム実験

Muon beam experiment pioneered by superconducting X-ray detector

岡田信二¹ for J-PARC MLF 2019MS01 collaboration

1 中部大学

近年、超伝導の性質を活かした極低温検出器は、様々な分野で注目を集めている。超伝導転移端センサー(Transition Edge Sensor; TES)は、極低温検出器に用いられる革新的なセンサーの一つで、超伝導から常伝導への相転移端における抵抗の急峻な温度依存性を利用した高感度な温度計である。特に、入射粒子が物質に吸収された時の微量な温度変化を TES で測定する熱量計は「TES 型マイクロカロリメータ」(TES 検出器)と呼ばれている。極低温(~ 0.1 K)で動作させ、熱容量を極端に小さくし、フォノンノイズを低減させることで、極めて優れたエネルギー分解能を実現する。X・ γ 線のエネルギー測定においては、これまで主流であった、Si や Ge による半導体検出器より 1~2 桁高い分解能を持つ。同様に優れたエネルギー分解能を持つ結晶分光器との比較において、多素子化により有効面積が拡大できる点と、同時に広いエネルギー範囲をカバーできる点で優れており、多方面への応用の可能性を秘めている。

我々は、 π 中間子・K 中間子・ミュオンなどの様々な量子ビームを用いたエキゾチック原子の精密X線分光実験に、この TES 検出器を導入し、当該分野の研究に大きな進展をもたらしている[1]。本講演では、2019 年と 2020 年に、J-PARC MLF ミュオン科学実験施設(MUSE)において実施した「ミュオン原子X線精密分光による、極限高電場条件下における量子電磁力学(QED)効果の検証実験」について紹介する[2]。本実験は、これまで難しかった希薄ガス標的における高分解能ミュオン原子 X 線分光を、J-PARC MUSE の大強度負ミュオンビームラインに、高いエネルギー分解能を有する多素子の超伝導転移端 X 線検出器を導入することで実現した。エネルギー較正には、X 線発生装置を利用し、任意の強度で、様々な金属からの特性 X 線を発生しながら、ミュオン X 線を同時に観測することで、信頼性の高い高精度分光実験を可能とした。加えて、2021 年度、新たに予定している「ミュオン“分子”X線高精度分光」にも触れ、本検出器を用いたミュオンビーム実験の将来展望について述べる。

[1] S. Okada et al., First application of superconducting transition-edge sensor microcalorimeters to hadronic atom X-ray spectroscopy, Prog. Theor. Exp. Phys. 2016, 091D01 (2016)

[2] S. Okada et al., X-ray Spectroscopy of Muonic Atoms Isolated in Vacuum with Transition Edge Sensors. J Low Temp Phys 200, 445 (2020)