

真空中かつ中性ビーム中で稼働する低物質質量荷電粒子検出器の開発

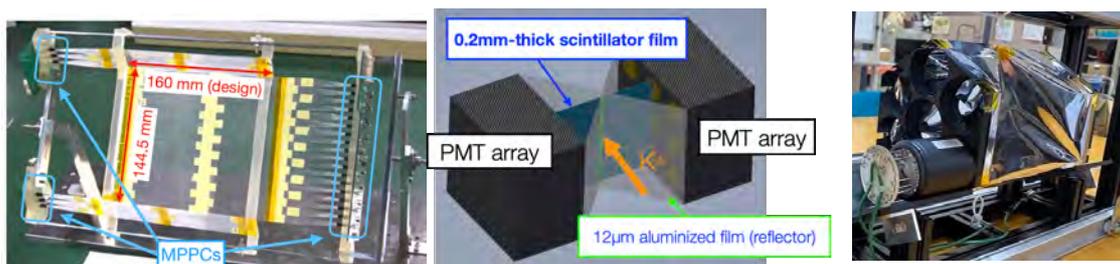
南條 創

最先端計測器開発プロジェクト

J-PARC KOTO 実験では、長寿命な中性 K 中間子 (K_L) が中性 π 中間子 (π^0) とニュートリノ (ν) 対へ崩壊する稀な崩壊、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 崩壊を信号事象として探索している。素粒子の標準理論では、この崩壊分岐比は 3×10^{-11} と強く抑制され、理論的な不定性も 2% と小さい。このため、標準理論を超える新物理による崩壊分岐比の変化を検出しやすい。

KOTO 実験では、 K_L の他に、中性子と γ 線を含む 8 cm 角の大きさの中性ビームを用いる。空気による散乱を防ぐため、ビーム通過領域は真空引きする。この中性ビーム中に僅かに荷電 K 中間子 (K^\pm) が存在し、 K^\pm の崩壊が主要な背景事象となることがわかった。中性ビーム中に、このビーム領域を十分に覆う 16 cm 角の荷電粒子検出器を導入し、 K^\pm を検出できると、この背景事象を削減できる。一方で、検出器が中性ビーム中の粒子と反応するとヒットレートが上がる。また K_L や中性子が散乱されると、別の背景事象が増える。これらを防ぐために、検出器を低物質質量にして中性粒子と反応しにくくする。この目的で、真空引きされた領域の、中性ビーム中で稼働する低物質質量荷電粒子検出器を開発している。

2020 年には、図左の 0.5 mm 角のプラスチックシンチレーションファイバを用いた検出器を KOTO 実験に導入した。現在解析中であるが、90–95% の検出効率を得られた。より高感度な低物質質量の検出器が望ましい。0.2 mm 厚みのプラスチックシンチレータを検討したが、以下の理由で通常の読み出し方法は期待できない。通常は、発生したシンチレーション光を、シンチレータ内部を伝播させ、端部から読み出す。0.2 mm 厚では、内部での反射回数が多くなり、減衰が大きく光量が少なすぎることを予想された。そこで図中央のように、シンチレータ表面から外に漏れ出すシンチレーション光を、反射集光し、ビームから離れた場所にある光電子増倍管により検出する方法を考案した。2020 年には小型プロタイプにより、荷電粒子あたり 12 光電子を得て、4 光電子以上を要求すると 99% 以上の検出効率となった。2021 年度は、集光に用いるアルミ蒸着フィルムの反射率の測定、これに基づくシミュレーションによる複数の集光機構の検討、光電子増倍管の真空耐性および高レート耐久性の研究、図右のような実機サイズの検出機の検討を進めた。2022 年に実機を KOTO 実験に導入する予定である。



研究業績リスト

I 査読論文

該当なし

II 国際会議等における発表

該当なし

III 国内会議等における発表

該当なし

IV 著書

該当なし

V 受賞と知的財産

該当なし

VI その他研究業績、発表文献

該当なし