

最先端素粒子物理学実験に応用する超小型光子検出器

小寺克茂
山中卓研究室

素粒子の振る舞い、すなわちこの世界で起こる事象の根源的な説明をする法則“素粒子標準理論”が、ヨーロッパ CERN における Higgs 粒子の発見によりある種の完成に達した。この理論は美しく、その内部では“閉じて無矛盾”であり、そのほころびを見つけるのは非常に困難である。一方、この理論ではまだ説明できない幾つかの謎があり、この理論の下に横たわるさらに深淵な仕組みがあると信じられている：新たなパラダイムを求めて、世界の研究者が協力、競争しあってそのほころびを探している。粒子・反粒子の問題も新たなパラダイムの存在を暗示する、すなわち、物質粒子の発生はほぼ完全に反粒子を伴うと理論は予言し、今実験してもそのようになるのに、我々の世界は粒子だけでできている。そこで我々が目指しているのは、粒子・反粒子の対称性を破り、この問題に強い示唆を与えうる K 中間子の非常に希な崩壊 ($K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$) の初観測である。

K 中間子が崩壊してできる素粒子の位置とエネルギーを測定する我々の検出器は、直径 2 m 厚さ 0.5 m の純 CsI 結晶をその心臓部とする。この円盤面に対して K 中間子が垂直方向に飛来し、検出器直前で発生する娘粒子達のエネルギーを測定する。この巨大円盤形検出器は中心部で 25mm×25mm×500 mm×2240 本、周辺部で 50 mm×50 mm ×500 mm×476 本の CsI 角柱の積載になっており、結晶一本一本の下流に取り付けられた光検出器(光電子増倍管)によって、検出器に入った粒子と CsI との反応でできた光の量を測定する：この光量は飛来粒子のエネルギーに比例する。JPARC(東海村)の K 中間子ビームを用いて 2013 年から測定を開始しているが[1]、探索が深まるにつれ、わずかな中性子の混在が問題となりだした。そこで我々は、各結晶の上流側からも光を読み出し、上流下流光検出器での光の到達時間差から飛来粒子の到達深度を測定し、K 中間子由来の粒子(高エネルギー光子)と中性子の弁別を試みる：高エネルギー光子に比べて、中性子は深部に達する。弁別に必要な時間分解能は 1 ナノ秒程度であり、上流に使う光検出器には、飛来粒子が影響をうけない小ささと、適度な感度、耐高真空性、十分に小さい熱放射、安価さも要求される。

MPPC[2]は 20 世紀の終わりに発明され、最近 10 年で飛躍的に性能が改善された超小型光検出器である。上で述べた要求を満たしており、上流側光検出器として必須である。講演では、最近急速に広がっている応用の一例として、この光検出器 4000 個を結晶につける方法や、読み出し方法、プロトタイプ検出器でみた性能を報告する。

参考文献：

- [1] J.K. Ahn et al. (J-PARC KOTO Collaboration), PTEP 2017, 021C01 (2017).
- [2] K. Yamamoto et al, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record N24-292 (2007).