KOPIO 実験のための中性子不感型光子検出器の設計

0530-14-0795 高エネルギー研究室 森井 秀樹

KOPIO 実験は K 中間子の希崩壊モード $K_L^0 \to \pi^0\nu\bar{\nu}$ の分岐比を精密測定する実験である．このモードの分岐比は CP 対称性の破れを特徴づける Jarlskog 不変量に比例し，これを精密に測定することで直接的 CP 対称性の破れの観測と標準模型の精密検証が可能となる．標準模型の予言ではこのモードの分岐比は 3×10^{-11} である．KOPIO 実験では $\sim10^{-13}$ の感度を目指しており，世界で初めてイベント発見能力を持つ実験となる．

KOPIO 実験では終状態 $\pi^0\nu\bar{\nu}$ の同定を $\pi^0 \to 2\gamma$ の 2γ を観測し，かつ他には何も検出されない，という条件で行う．ここで最大のバックグラウンドとなるのは $K_L^0 \to \pi^0\pi^0$ からの 4γ であり，これを防ぐため崩壊領域を完全に覆う veto カウンタが必要となる．

我々が開発を行っている Beam Catcher はビームホール中へ逃れる γ 線を veto する検出器であり，γ 線に対して高い検出効率を持つと同時にビーム中に大量に存在する中性子に対して不感である必要がある．この要求を満たすため，我々は鉛コンバータとエアロジェルを用いたČerenkov 閾値型検出器を多数分散配置する検出器を考案した．

このデザインの有効性を確認するため，我々はまずプロトタイプを製作し，KEK PS T1 ビームラインで原理テストを行った．その結果，発光量，ハドロン反応とも GEANT3 を用いたシミュレーションの結果と概ね一致することが分かった．このビームテストによって Beam Catcher での物理が確認された．

次に，GEANT3 を用いたシミュレーションで実機での光学系の設計を行い，量産が容易で，かつ集光効率のよい光学系を決定した．さらに，Beam Catcher モジュールを全て並べたシミュレーションで予定の光子検出効率と中性子不感性が実現できるかを確認した．その結果，必要な光子検出効率を得るためには十分な光量が必要であり，そのためには透過率の高いエアロジェルを用いる必要があることが分かった．この透過率の高いエアロジェルを用いた場合，光子に対しては 300 MeV で 99 % の検出効率を持つ一方，中性子に対しては 800 MeV で 0.3 %の検出効率に抑えられる事が分かった．これらのシミュレーションを用いた研究によって目標を達成できる Beam Catcher のデザインが確立された．

最後に，Čerenkov 放射体であるエアロジェルの光学特性が重要となることが分かったので，量産に向けた準備としてエアロジェルの発光特性及び光透過特性を評価するシステムを開発した．これを用いて使用を予定しているエアロジェルのサンプルで必要な発光量，透過率が達成されていることを確認した．

本研究ではプロトタイプを用いて Beam Catcher での物理を確認し，次にシミュレーションによる光学系や検出器配置の最適化を通じて高い光子検出効率と中性子不感性を両立する Beam Catcher の具体的なデザインを決定した．加えて，今後の量産に向けてエアロジェルの品質管理システムを開発した．