

論 文 要 旨

氏名 浜田 尚

論文題目

Belle II 実験に使用する粒子識別用光検出器 HAPD の放射線耐性評価

論文要旨

今日、素粒子物理学では物理学の基本となる理論の枠組み（標準模型）の詳細な検証および、それを超える新しい物理の検証をするために世界各国で実験がおこなわれている。そのひとつである Belle 実験は小林・益川理論の検証を目指し、その理論の予言する CP 対称性の破れを検証するため、1998 年に茨城県つくば市の高エネルギー加速器研究機構で開始された。この実験は電子・陽電子非対称衝突型エネルギー衝突型円形加速器 KEKB で大量の B 中間子・反 B 中間子を生成し、その崩壊過程を Belle 検出器で観測するものであった。2001 年の夏、 $B^0 \rightarrow J/\psi K_s$ 崩壊過程において測定された CP 非対称性度は標準模型で予測される値と極めてよく一致し、CP 対称性の破れが小林・益川理論により説明できることが証明された。Belle 実験はその後データを蓄積し、その結果新物理に關与する稀崩壊や興味深い現象も発見されたが、統計精度が不十分であり、新物理や新現象発見に決着をつけることは困難であった。そこで一桁以上の統計向上を目的とした Belle II 実験が 2015 年より開始される。現在、測定精度もより向上させるために、加速器・検出器ともにアップグレードが行われている。その狙いの一つが B 中間子の崩壊生成物である K 中間子と π 中間子の識別能力向上である。Belle II 実験でこの識別を担うのがチェレンコフ光検出器の A-RICH (Aerogel Ring Imaging Cherenkov counter) である。Belle 実験では識別できる運動量が $0.5\text{GeV} < p < 2.0\text{GeV}/c$ であったのに対し、上限を 4.0GeV まで拡大できるよう開発が進められている。A-RICH 検出器は粒子が輻射体を通過した時に発生するチェレンコフ光によるリングイメージを検出し、そのリング半径から輻射角度を測定する。輻射体には Aerogel、リングイメージ観測のための光検出器には、Hybrid Avalanche Photo Detector (HAPD) を用いる。

HAPD は新型のマルチアノード型光検出器で、2002 年より浜松ホトニクス (株) と共同開発を行っている。 $4.9 \times 4.9\text{mm}^2$ の APD が 144ch 内蔵された真空管で、2 段増幅型の検出器である。「十分な有効面積」「5mm 以下の位置分解能」「単光子検出が可能」「1.5T の磁場中での動作」「十分な放射線耐性」が求められる。現在は特に放射線耐性が問題となっており、Belle II 10 年間の稼働でガンマ線は 1000Gy 、中性子線は $1.0 \times 10^{12}\text{neutron}/\text{cm}^2$ の積算線量が予想されているため、HAPD がこの線量に対して耐性を持つように開発することが必要となる。これまでの研究で中性子線に対しては APD 内の P 層を薄くすること、また読み出し回路の波形整形時間を短くすることによって耐性向上につながるということがわかっている。ガンマ線に関しては、照射されると強い影響を受け、通常では考えられない急激な電流増加が起きるが、APD 表面膜の帯電の影響により引き起こされていることが確認できている。

本研究ではこれまでの放射線耐性試験の総まとめとして最終仕様の HAPD に中性子線・ガンマ線を複合的に照射し、その影響を確認する試験を行った。APD への放射線に対する影響はそれぞれ独立であり、またガンマ線に関して HAPD は数百から 1000Gy までの範囲で耐性を持ち、HAPD についてばらつきがあることがわかった。また、より高い利得が得られるよう APD 内部の膜質や膜厚についての違いも詳細に調べた。その結果、Belle II 実験で使用する HAPD の仕様を確定でき、10 年間の稼働でも放射線耐性を持つ HAPD の開発に成功した。