

MEDIDA DE LA EFICIENCIA RELATIVA DE DETECCIÓN DE LOS FOTOMULTIPLICADORES DEL RICH DE AMS-02

C. De La Guía¹, C. Palomares²

^{1,2} Departamento de Astropartículas. División de Investigación Básica. Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).
Avenida Complutense, 22 ,28040 Madrid (Spain)

cristina.delaguia@ciemat.es

Resumen: AMS-02 [1] es un experimento de astropartículas que operará en la ISS al menos durante tres años con el propósito de medir el espectro de energía y la composición de los rayos cósmicos primarios, así como la búsqueda de materia oscura y antimateria. Lo componen varios subdetectores: el más importante es el Detector de Trazas de Silicio, que junto con el imán superconductor, proporciona una medida de la rigidez (momento/carga) con una gran resolución (protones: resolución del momento $\sim 1.5\%$ a $10 \text{ GeV}/c$), y de la carga de núcleos hasta $Z < 26$; el resto de subdetectores dan información sobre las partículas de modo redundante y complementario. Uno de estos subdetectores es el RICH, detector de luz Cherenkov, cuyo objetivo es medir la velocidad, β , con una precisión para protones $\leq 0.1\%$, y proporcionar una medida adicional de la carga, Z (hasta $Z < 26$). El RICH está compuesto por un radiador, un espejo reflector y un plano de detección. Este último tiene como dispositivos de detección de luz, fotomultiplicadores (PMT). Se presenta un estudio de la medida de la eficiencia relativa de detección de los PMT de uno de los módulos principales de los 8 que forman el plano de detección.

1. Introducción

AMS-02 es un detector de astropartículas que integra varios subdetectores para medir redundantemente características necesarias para la identificación de las partículas, tales como: la masa, la carga o la energía, entre otras. El RICH, es un subdetector de Imagen de Anillos Cherenkov, y está formado por tres componentes: un radiador (Aerogel de silicio y NaF en la parte central); un espejo reflector; y un plano de detección formado por 680 PMT, distribuidos en ocho módulos, que también llamaremos rejillas. Tendremos cuatro rejillas rectangulares (143 PMT cada una) y cuatro triangulares (27 PMT cada una). Cada unidad de PMT está compuesta además, por: un sistema de guías ópticas, cada una de las cuales conduce la luz hasta un pixel de la ventana que comparten los 16 canales que forman el PMT; y un escudo protector para el apantallamiento del campo magnético.

2. Objetivos

La medida de la carga de la partícula es proporcional al número de fotoelectrones detectados (N_{fetot}), $Z^2 = N_{\text{fetot}} / N_{\text{esp}}$, siendo N_{esp} : el número esperado de fotoelectrones en el anillo Cherenkov de una partícula equivalente de carga $Z=1$ [2].

El error en la estimación de la carga debido a incertidumbres en el plano detector aumenta linealmente con la carga de la partícula:

$$\sigma(Z) = (1/2)Z[(\sigma_{\text{CH}}^2 / N_{\text{CH}}) + (\sigma_{\text{PM}}^2 / N_{\text{PM}})]^{1/2}$$

Se ha observado que por cada anillo, el número de canales es del orden de cuatro veces el número de PMT, para cualquier Z . Por tanto, mientras que una incertidumbre en la medida de la luz PMT a PMT del 5-10% contribuirá

significativamente al error total de la carga eléctrica, un error sistemático canal a canal del 3-5%, es despreciable. La contribución a las incertidumbres PMT a PMT provienen de variaciones en las eficiencias cuánticas y en las eficiencias de las guías ópticas, mientras que canal a canal dependen de variaciones en las ganancias. Por tanto, debemos conocer la eficiencia de detección, que incluye la eficiencia cuántica y la eficiencia de las guías, de cada PMT con una precisión mejor que el 5%[3].

En este estudio se presenta la medida de la eficiencia de detección de los PMT que componen una de las cuatro rejillas principales que forman el plano de detección del RICH. Dado que no sabemos controlar la cantidad de luz suministrada por nuestra fuente (un LED pulsado), se expresará la respuesta de los PMT en términos relativos.

Estudios previos sugieren que la dispersión de la eficiencia de detección canal a canal dentro de un PMT es menor que el 5%. Este estudio se basa en esta hipótesis (sólo medimos una eficiencia por PMT) pero debemos comprobarla previamente.

3. Método

Se debe iluminar cada PMT con la misma cantidad de luz, para ello se han diseñado y construido unos dispositivos que permiten la iluminación individual de cada canal del PMT con una cantidad de luz constante en el régimen de un sólo fotón.

Cuando el número de fotones incidentes es muy pequeño la probabilidad de que el PMT haya observado r foto-electrones viene dado por una Poisson: $P_r = e^{-\mu} \mu^r / r!$. A partir del número de sucesos en el pedestal (ruido electrónico) se obtiene la probabilidad de tener 0 foto-electrones y de ahí se obtiene el número medio de foto-electrones, μ , detectados por el PMT.

Para obtener la eficiencia relativa de detección, realizamos el cociente de éste, respecto a otro μ medido con el mismo dispositivo que será tomado como referencia para todos los PMTs.

Disponemos de cuatro dispositivos de medida, cada uno de los cuales tomó 51 medidas de los PMT, algunas de ellas repetidas en distintos momentos o días.

3.a. Viabilidad del Método

Hemos comprobado que nuestros dispositivos de medida son capaces de proporcionar la misma cantidad de luz a todos los PMTs. Iluminando el mismo PMT varias veces se ha reproducido la misma medida del número medio de foto-electrones dentro de un 2%. Por tanto, nuestros dispositivos satisfacen el requerimiento de precisión que imponíamos.

3.b. Dispersión de la Eficiencia relativa canal a canal

Se ha comprobado que las desviaciones canal a canal con respecto a un valor promedio por PMT, son menores o iguales al 6%. Por tanto a cada canal le podemos asignar la media de la eficiencia del PMT correspondiente, sin que esta incertidumbre canal a canal afecte a la resolución de la medida de la carga.

3.c. Medida de la Eficiencia relativa por PMT

Se ha elegido como estimador de la eficiencia relativa de cada PMT el número total medio de fotoelectrones medido en todo el PMT: $Ef = [\sum_i(\mu_i)] / [\sum_i(\mu_{\text{referencia},i})]$, de esta forma minimizamos la contribución del error introducido canal a canal.

Como $\mu_{\text{referencia}}$ se toma el valor promediado a todos los PMT del módulo

medidos con un mismo dispositivo.

3.d. Intercalibración de los Dispositivos de Media

Ya que los cuatro dispositivos no proporcionan exactamente la misma cantidad de luz y que queremos obtener la eficiencia relativa de detección con respecto a una única referencia para toda la rejilla, debemos intercalibrar los 4 dispositivos. Medimos varios PMTs con los cuatro dispositivos de medida empleados, y los calibramos con respecto al primero. En la tabla se puede ver el cociente entre la iluminación de cada dispositivo de medida con respecto al primero de ellos:

Intercalibración	Media	RMS
Disp: 2/1	0,998	0,071
Disp: 3/1	0,980	0,065
Disp: 4/1	0,979	0,069

3.f. Eficiencia Relativa Final

Con los datos de las relaciones de luz detectados por cada PMT empleando uno u otro dispositivo recalcularemos las eficiencias relativas de cada PMT para toda la rejilla con respecto a una única referencia. Los valores obtenidos aparecen en la figura 1. En la figura 2 se puede ver un esquema de la rejilla donde se indica el valor medio de la eficiencia para cada PMT.

4. Resultados y Conclusiones

Tras el estudio de la luz detectada por los fotomultiplicadores, hemos comprobado que nuestro montaje nos proporciona una buena estabilidad y repetibilidad, lo que nos permite conocer la eficiencia relativa con una precisión mejor del 5%. Finalmente, presentamos los valores de la eficiencia de detección relativa por PMT (figura 2), relativa a un único valor promedio del número medio de fotoelectrones para todo el módulo. Se observa que no hay grandes diferencias en la eficiencia de detección entre los PMTs de esta rejilla, dando la dispersión ~6%. Incertidumbres en la detección de luz PMT a PMT por debajo del 5%, permiten mantener una resolución en Z no superior a 0.3 hasta cargas eléctricas altas ($\sim Z=26$).

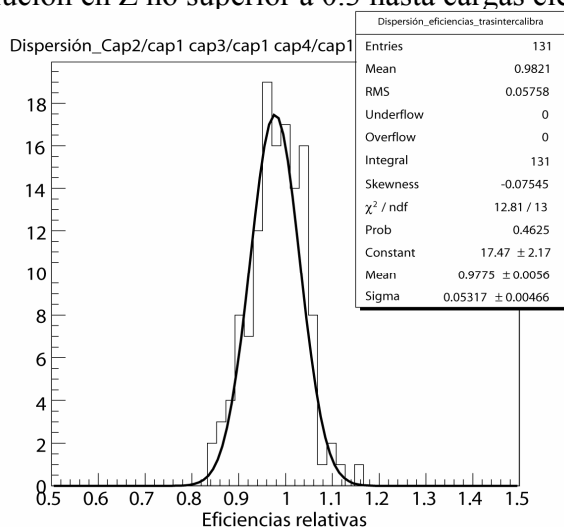


Figura 1. Eficiencias relativas de detección de los PMT del módulo de estudio del plano de detección, con respecto a un único valor promedio para toda la rejilla.

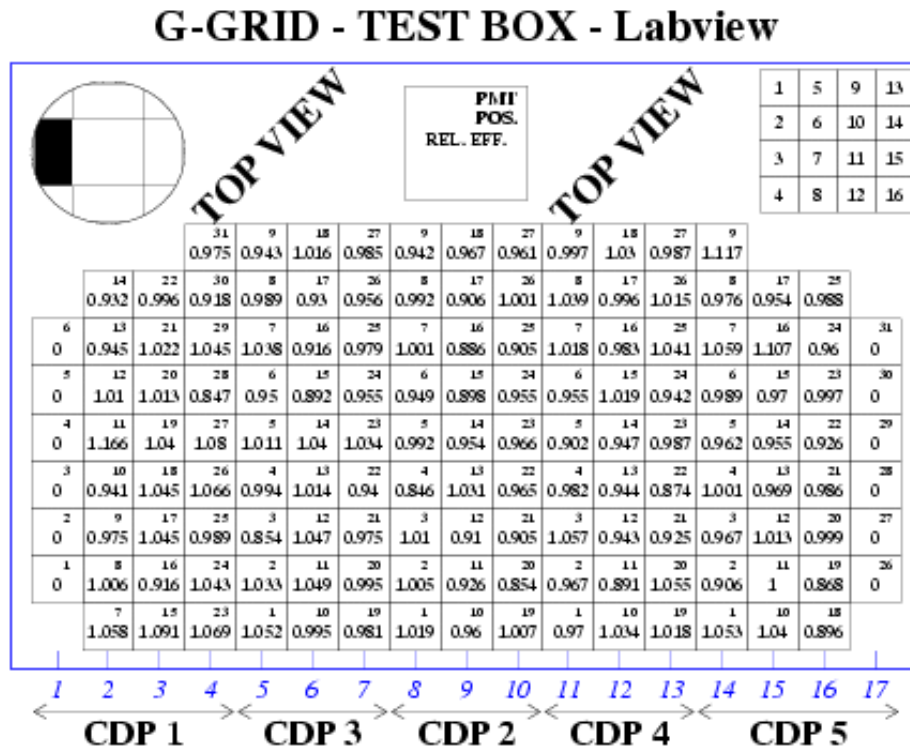


Figura 2. Eficiencias relativas de detección de los PMT del módulo de estudio del plano de detección, con respecto a un único valor promedio para toda la rejilla.

Bibliografía

- [1] AMS collaboration, “AMS on ISS: Construction of a Particle Physics Detector on the International Space Station” to be submitted to Nucl.Instrume. and Meth. B.
- [2] E. Lanciotti. Memoria para obtención del título de Doctora en C. Físicas: “Estudio de las capacidades del detector RICH de AMS mediante el análisis de los datos de un prototipo en un haz de iones”. (2005).
- [3] C. De La Guía. Obtención del Diploma de Estudios Avanzados: Medida de la Eficiencia Relativa de Detección del RICH de AMS-02 (En preparación).