

MONITORIZACIÓN DE GANANCIAS DE LOS PMTs DEL DETECTOR RICH DE AMS-02

D. Crespo Roces

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)
Departamento de Investigación Básica. División de Astrofísica de Partículas
Avda. Complutense, 22 – 28040 Madrid (Spain)
david.crespo@ciemat.es

Resumen: AMS (Alpha Magnetic Spectrometer) es un experimento de física de altas energías en la ISS (International Space Station) que tiene el propósito de realizar una medida del espectro de rayos cósmicos cargados. El detector RICH (Ring Imaging Cherenkov Detector) es uno de los componentes principales de AMS-02. Su misión es la de medir la carga y la velocidad de las partículas que lo atraviesan haciendo uso del efecto Cherenkov. Los fotomultiplicadores del plano de detección del RICH son los encargados de detectar los anillos Cherenkov, a partir de los cuales se hace una reconstrucción de la velocidad y de la carga. La respuesta de los fotomultiplicadores puede sufrir variaciones a lo largo de la misión, por lo que se necesita determinar con precisión la ganancia para no comprometer la reconstrucción de las cantidades físicas asociadas al RICH. Aquí se describe el método de monitorización de las ganancias de los fotomultiplicadores.

1. El Experimento AMS

AMS [1] (Alpha Magnetic Spectrometer) es un experimento de física de altas energías en el espacio. Su propósito es el de realizar una medida precisa, de alta estadística y larga duración del espectro de rayos cósmicos cargados. Los objetivos físicos que se persiguen son el estudio de la materia oscura [2], la antimateria [3] y la propia propagación de los rayos cósmicos. AMS se instalará en la ISS (International Space Station) en el año 2009, donde estará tomando datos durante 3 años.

1.a El Detector RICH

El detector RICH [4] (Ring Imaging Cherenkov Detector) es uno de los componentes principales de AMS-02. Tiene una forma de cono truncado, donde la parte superior tiene un radio de 60 cm, la parte inferior un radio de 67 cm y una separación vertical entre ambas de 47 cm. Las partes principales de las que consta el RICH son el radiador, el reflector y el plano de detección. El plano de detección está formado por un sistema de 680 fotomultiplicadores distribuidos por todo el plano excepto en la parte central. El fotomultiplicador usado es el Hamamatsu R7600-00-M16, el cual tiene una estructura de multiánodo con 4×4 píxeles. Estos serán nombrados en el trabajo como canales.

La determinación de la velocidad y de la carga de las partículas se basa en el efecto Cherenkov [5]: si una partícula de carga Ze atraviesa un material dieléctrico con una velocidad superior a la de la luz en ese medio, se induce la emisión de luz con un determinado ángulo, formándose lo que se conoce como cono de radiación Cherenkov. La relación existente entre la velocidad de la partícula y el semiángulo del cono viene dada por la expresión:

$$\cos \theta = \frac{1}{\beta n(\omega)} \quad (1)$$

donde β es la velocidad de la partícula y n es el índice de refracción del medio dieléctrico. Por otra parte, el número de fotones emitidos N en un intervalo de frecuencia $d\omega$ por longitud transversal atravesada dx en el material es:

$$\frac{d^2 N}{d\omega dx} = \alpha Z^2 \text{sen}^2 \theta \quad (2)$$

La intersección de los conos de luz con el plano de detección dará lugar a la formación de anillos. Serán los fotomultiplicadores de este plano los encargados de detectar estos anillos, pudiéndose de esta forma reconstruir la velocidad y la carga de la partícula incidente [6].

2. Motivación y pasos previos a la monitorización

Como se ha dicho anteriormente, los fotomultiplicadores del plano de detección son los encargados de detectar los anillos Cherenkov, por lo que una buena reconstrucción requerirá tener bien calibrada la ganancia de los fotomultiplicadores. Esta ganancia puede sufrir variaciones. Detectar estas variaciones y corregirlas son el propósito de esta monitorización.

El programa de simulación y reconstrucción proporciona como salida unos ficheros ROOT [7], ficheros que almacenan una serie de variables para cada suceso registrado. Por lo tanto, para empezar a trabajar es necesario definir unos criterios de selección de sucesos. De entre todos ellos, el más importante y con una mayor influencia es el referido a la señal, por el cual, se van a rechazar aquellas señales que estén fuera del intervalo 0.25 – 1.75 fotoelectrones (régimen de fotón único).

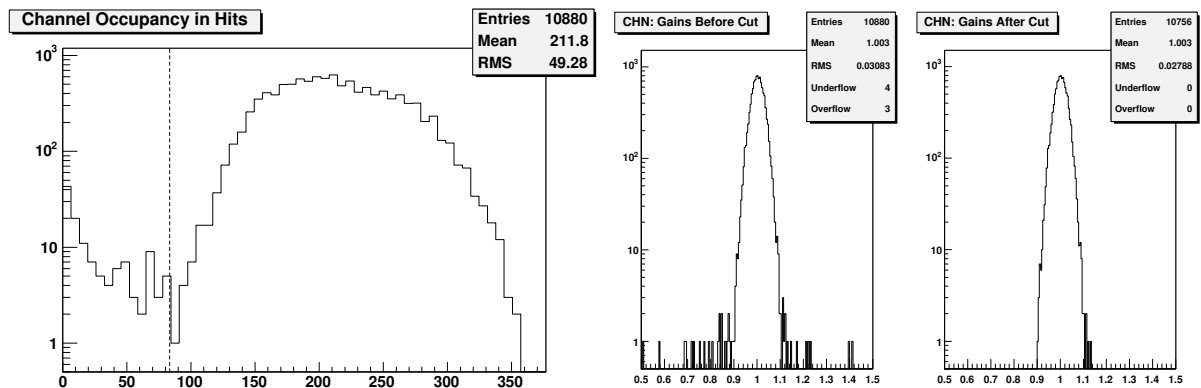


Figura 1. Izda: Distribución del nivel de ocupación de los canales de los fotomultiplicadores. Dcha: Histograma de la ganancia de los canales antes y después del corte en el nivel de ocupación.

Si se realiza un histograma de los niveles de ocupación de los canales, es decir, del número de sucesos que registran estos, se puede observar en la distribución resultante que los niveles más bajos de ocupación están diferenciados (figura 1 – izda.), pudiéndose identificar los canales muertos y los canales con baja estadística. Por otro lado, si definimos la ganancia como el valor medio de la distribución de la señal para cada canal, se obtiene una distribución centrada en 1 (figura 1 – dcha.). Se puede observar que una de las consecuencias de hacer el corte anterior es la eliminación de las colas en el histograma. Si se representa el RMS de esta distribución para diferentes tiempos de toma de datos, se ve que este sigue un comportamiento estadístico, tal que es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del número de entradas. Para 90 minutos de toma de datos (1 órbita) podemos dar la ganancia con

una precisión del 3%.

3. Monitorización de la ganancia

El estudio anterior se realizó teniendo en cuenta unos valores de las ganancias de los fotomultiplicadores calibradas, ganancias que llamaremos nominales. Para realizar la monitorización se tuvo que hacer en primer lugar una simulación de sucesos donde las ganancias de los fotomultiplicadores se variaron con respecto a las nominales. A estas ganancias las llamaremos modificadas. A partir de estos sucesos simulados se hizo la reconstrucción sin tener en cuenta esa variación en las ganancias, sino que se hizo con las ganancias nominales. Por lo tanto, la tarea a realizar será la de reajustar las ganancias nominales de tal forma que se obtengan las modificadas.

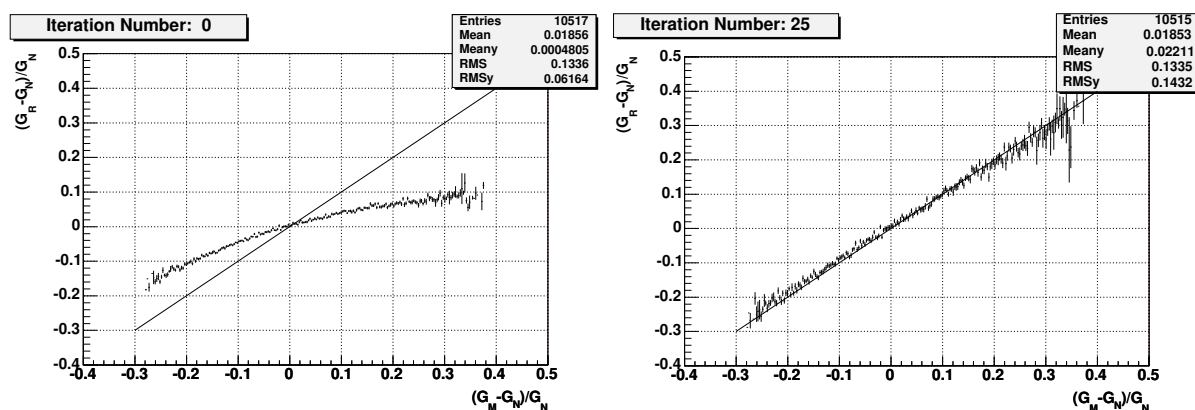


Figura 2. Izda: Ganancias reajustadas frente a modificadas a para una primera iteración. Dcha: Ganancias reajustadas frente a modificadas al final del proceso iterativo.

Una primera aproximación al reajuste de las ganancias nominales es la de multiplicar todas ellas por un factor de corrección particular para cada una. Este factor de corrección es lo que hemos definido en el apartado 2 como el valor medio de la distribución de la señal en el intervalo 0.25 - 1.75 fotoelectrones para cada canal. Si se realiza esta operación, se puede ver que los nuevos valores reajustados no concuerdan con los modificados (figura 2 – izda.). Para corregir el sesgo existente se recurre a las iteraciones. En cada iteración se construye un nuevo factor de corrección con el que se multiplica a los valores de la ganancia obtenidos en la iteración anterior. Después de 25 iteraciones (figura 2 – dcha.) se observa que en media se han corregido los valores nominales de las ganancias. Para poder valorar si este método funciona bien, es preciso realizar un estudio de los residuos. Para ello, en cada iteración se realiza el histograma del cociente de la ganancia reajustada (G_R) en cada iteración y de la ganancia modificada (G_M) para todos los canales. Así mismo, se muestra también un histograma de estos cocientes para diferentes intervalos de la variación de la ganancia modificada respecto a la nominal (eje x de la figura 2). Si se representa la media y el RMS de los histogramas en función del número de iteración (figura 3) se constata el hecho de que en la iteración 10 el 98% de los factores de corrección tienen valor unidad. También se puede ver que las ganancias tienden en media al valor modificado. Por otro lado, el RMS aumenta en cada iteración hasta que se estabiliza en 0.065. Este aumento en el RMS es debido a una amplificación estadística, consecuencia de que cada iteración se hace sobre la misma muestra de sucesos, los cuáles llevan asociado un error.

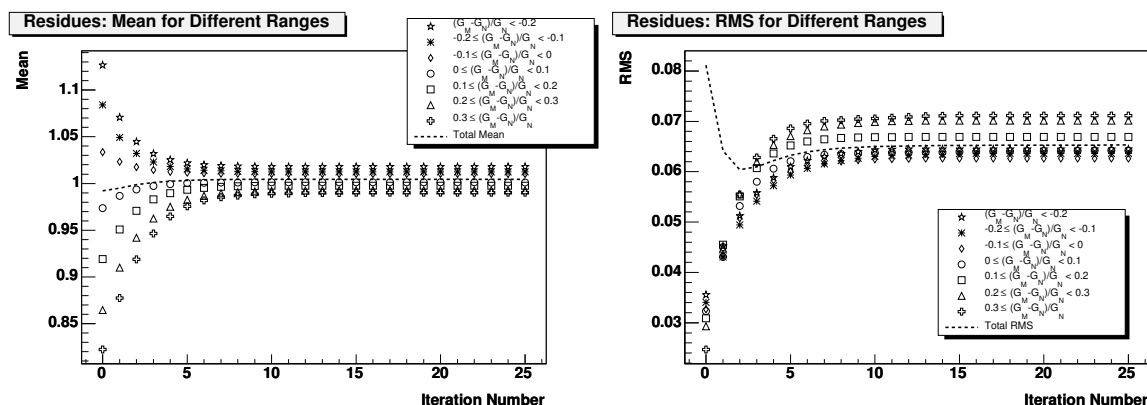


Figura 3. Izda: Evolución de la media de los residuos G_R/G_M con el número de iteración. Dcha: Evolución del RMS de los residuos G_R/G_M con el número de iteración.

Después del proceso de iteración podemos dar el valor de la ganancia con una precisión del 6.5% para 90 minutos de toma de datos.

4. Conclusiones

Si tenemos unas ganancias calibradas, estas se pueden dar con una precisión del 3% para 90 minutos de toma de datos. Por el contrario, si las ganancias han sufrido alguna variación y tenemos que reajustarlas recurriendo para ello al método iterativo, vamos a poder corregir sus valores, pero pagando un precio, la pérdida de precisión. El siguiente paso a dar es el de mejorar este método. Una posibilidad es la de no volver a iterar sobre aquellos canales para los cuales el factor de corrección correspondiente ha alcanzado un valor que cae dentro del rango definido por tal error. Avanzando en esta misma dirección, el siguiente paso es utilizar un criterio de convergencia particular para cada canal, teniendo en cuenta que la precisión con la que se puede dar la ganancia depende del número de sucesos que registran los canales.

Bibliografía

- [1] C. Lechanoine-Leluc, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B, **214**, 103 – 109, (2004).
- [2] G. Jungman *et al.*, Phys. Reports, **267**, 195 – 373, (1996).
- [3] Yu. V. Galaktionov, Rep. Prog. Phys., **65**, 1243 – 1270, (2002).
- [4] M. Buenerd, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, **502**, 158 – 162, (2003).
- [5] P.A. Cherenkov, Phys. Rev., **52**, 378 – 379, (1937).
- [6] F. Barao *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, **502**, 310 – 314, (2003).
- [7] R. Brun and F. Rademakers, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, **389**, 81 – 86, (1997).