

Caracterización óptica de aerogel de silicio como radiador del detector RICH de AMS-02

A. S. Torrentó Coello, M. Aguilar-Benítez, J. Alcaraz, J. Berdugo, J. Casaus, J. de Vicente, C. Díaz, L. García-Tabarés, E. Lanciotti, C. Mañá, J. Marín, G. Martínez, M. Mollá, C. Palomares, E. Sánchez, S. Sanz, I. Sevilla, F. Toral, C. Vázquez

Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas. Dpto. de Investigación Básica. División de Astrofísica de Partículas. Avda. Complutense, 22. 28040 – Madrid; e-mail: ana.torrento@ciemat.es.

I. INTRODUCCIÓN

El detector RICH de AMS-02¹ consiste en un medio radiador que emite fotones al paso de una partícula cargada por efecto Cherenkov, y un plano detector formado por 680 fotomultiplicadores donde se proyecta el cono de luz producido dando lugar a un anillo. La apertura del cono (θ) depende tanto de la velocidad de la partícula (β) como del índice de refracción del radiador (n), de acuerdo con la expresión $\cos\theta=1/n\beta$.

En los detectores RICH la resolución en la determinación de la velocidad depende del número de fotones emitidos que atraviesan el radiador sin desviarse, siendo su expresión

$$\frac{\sigma_{\beta}}{\beta} = \left(\frac{\sigma_n}{n} + \tan\theta\sigma_{\theta} \right) \frac{1}{\sqrt{N}} \quad [2]$$

con lo que el error en la velocidad es menor cuando el cono Cherenkov es estrecho (n es pequeño) y el número de fotones que forman el anillo N es grande.

El aerogel de silicio es un material comúnmente utilizado como radiador en detectores Cherenkov, y será el empleado en el RICH de AMS-02. Sus ventajas residen en su bajo índice de refracción y su baja densidad, lo que permite aumentar el grosor del radiador sin contribuir excesivamente a la masa total del detector. Sin embargo, su estructura interna altamente inhomogénea afecta a la transmisión de la luz Cherenkov producida, empeorando la resolución en la medida de la velocidad.

II. CARACTERIZACIÓN ÓPTICA

El aerogel de silicio es un material artificial que consiste en granos de SiO_2 amorfo que se agrupan formando una red tridimensional cuyos huecos se rellenan con aire. Este material es transparente, pero debido a su porosidad la dispersión Rayleigh afecta a la luz que transmite, desviando fotones del cono de luz Cherenkov. La caracterización óptica del aerogel se realiza midiendo la transmitancia en función de la longitud de onda. Estas curvas se ajustan bastante bien en el rango 300-700 nm a la expresión

$$T(\lambda) = Ae^{-CL/\lambda^4} \quad [3]$$

donde A es el valor máximo de la transmitancia (independiente de λ), C es la claridad, un parámetro que estima la contribución de la dispersión Rayleigh, y L es el grosor de la muestra medida (Figura 1). Los aerogeles con valores de A altos y C bajos serán los más transparentes.

Para el detector RICH de AMS-02 se han caracterizado varias muestras de aerogel, suministradas por Matsushita Electric Works Ltd. (MEW) y el Borekov Institute of

¹ Colaboración AMS. *AMS on ISS. Construction of a particle physics detector on the International Space Station.* Pendiente de ser publicado en Nucl. Instr. Methods A.

Catalysis (BIC) (Tabla 1), y se ha estudiado su degradación en condiciones ambientales y en vacío. En la elección final del aerogel se buscará un compromiso entre la precisión en la medida de la velocidad (n , L), la calidad óptica del material (A , C) y la degradación de sus propiedades.

III. TRANSMITANCIA Y UNIFORMIDAD

La transmitancia de las muestras se ha medido con un espectrofotómetro en el rango de longitud de onda 200-800 nm. Las curvas $T(\lambda)$ se ajustan a la función [2] en el intervalo 320-700 nm, obteniendo los valores A y C que caracterizan la muestra.

Se ha comprobado la uniformidad de las muestras midiendo en 4 puntos simétricos respecto al centro separados ~4 cm entre sí. En la Tabla 1 se presentan los valores promedio de A y C en estos 4 puntos con el rms como error. Los resultados indican que las muestras de BIC son ópticamente mejores, pues tienen una claridad menor y son más uniformes, con $\sigma_A/A < 0.5\%$ y $\sigma_C/C < 1\%$.

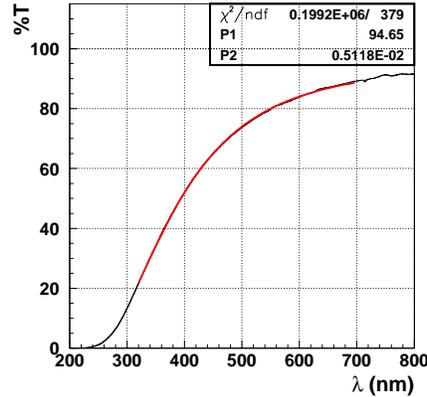


Figura 1. Transmitancia vs. longitud de onda y ajuste con la función [2] para una muestra de aerogel ($P1=A$ y $P2=C$).

IV. ENVEJECIMIENTO EN CONDICIONES AMBIENTALES

Durante 34 días se ha monitorizado la transmitancia de una muestra de BIC en condiciones de almacenamiento, ya que al ser éste un material hidrófilo es más probable que sus propiedades se vean afectadas por variaciones ambientales.

La temperatura en este periodo es bastante estable (16-22 °C), al contrario que la humedad (45-70 %HR), observándose una correlación entre su variación y los cambios producidos en A (<1%) y C ($\pm 4\%$). Estos cambios están dentro de la tolerancia exigida en AMS-02.

V. ENVEJECIMIENTO EN VACÍO

Se ha medido la transmitancia de muestras de MEW con $n=1.03$ y de BIC con $n=1.03$, 1.05 en vacío ($P=1.2 \times 10^{-6}$ mbar) cada 4 horas durante 112 días. Se observa un empeoramiento de la claridad, que extrapolado resulta menor que un 7% por año para todas las muestras, por lo que cumplen los criterios de calidad requeridos para AMS-02.

Tabla 1. Transmitancia A y claridad C promedio con su correspondiente RMS de las medidas en 4 puntos en todas las muestras disponibles.

Material	n	Dimensiones (mm ³)	$A \pm \sigma_A$ (%)	$C \pm \sigma_C$ ($\mu\text{m}^2\text{cm}^{-1}$)
MEW (2001)	1.03	115×115×10	98.15 ± 0.60	0.01046 ± 0.000
MEW (2002)		115×115×10	96.78 ± 0.97	0.00679 ± 0.000
BIC		85×85×30	94.78 ± 0.27	0.00509 ± 0.000
MEW (2001)	1.05	115×115×10	95.57 ± 0.61	0.01485 ± 0.000
MEW (2002)		115×115×10	98.83 ± 0.19	0.01276 ± 0.000
BIC		55×55×25	96.95 ± 0.38	0.00524 ± 0.000