

Observacion del “Solar Flare” del 14 de Julio de 2000 Mediante el Detector L3+Cosmicos

J. Alcaraz, A. Bajo, B. De la Cruz, P. García, M.I. Josa, P. Ladrón de Guevara, E. Sánchez

Instituto de Investigación Básica, División de Física Experimental de Altas Energías. CIEMAT. 28040 Madrid.

I. INTRODUCCION.

Es conocido que procesos solares de alta energía (tales como “solar flares”, SFs o “coronal mass ejections”, CMEs) aceleran protones solares hasta energías que, si superan los centenares de MeV, producen partículas secundarias observables, según las condiciones (energía primaria, rigidez geomagnética, longitud de atmósfera atravesada, anisotropía del flujo, etc.), bien por satélites, bien por detectores en la superficie terrestre (monitores de neutrones, NMs), o incluso por detectores subterráneos de muones sólo sensibles a las mayores energías primarias. Actualmente, más de 100 NMs distribuidos a distintas latitudes geomagnéticas actúan como un espectrómetro geomagnético para la detección de aumentos de flujo debidos a la actividad solar (Ground Level Enhancements, GLE's). Desde 1946 se han detectado más de 65 GLEs. Uno de ellos (29 de Septiembre de 1989) ha permitido establecer que la energía primaria asociada puede alcanzar rangos superiores al GeV. (El NM de Huancayo establece al menos 13 GeV, el detector subterráneo de muones Embudo establece entre 20 -30 GeV y el detector subterráneo de muones de Baksan establece un exceso de protones con energía primaria superior a 500 GeV, aunque 2 h. más tarde del comienzo de la fase impulsiva del SF).

II. EL “GLE” DEL 14 DE JULIO DEL 2000.

Este GLE estaba asociado a un SF de clase X5.7/3B producido en la región de mancha solar 9077. El aumento de rayos X comenzó en 10:03 UT alcanzando su pico en 10:24 UT. El comienzo de un apogeo de radioemisión de tipo II (que se cree próxima al comienzo de aceleración relativista de protones) ocurrió en 10:20 UT. En 10:30 UT el satélite GOES-8 observó un rápido aumento del flujo de protones. Los instrumentos a bordo de SOHO/LASCO detectaron el desarrollo de un CME dirigido a la Tierra durante este periodo. En tierra, más de 20 NMs¹ observaron del 2% al 60% de aumento de intensidad de la radiación cósmica, comenzando en 10:30 UT. Entre ellos, Nomnisky, (rigidez 4 GV) y Altma-Ata (rigidez 6.7 GV) indicaban la producción de un flujo de protones de al menos 6.7 GeV. Este SF fue el tercero en magnitud con protones de más de 10 MeV desde 1976. L3+COSMICS tomó datos del flujo de muones durante todo este periodo. La reconstrucción de este suceso (hecha por otros autores²) usando los NMs mediante modelos referentes a la aproximación del flujo de protones a la Tierra arrojan las siguientes conclusiones (que guiaron posteriormente nuestro análisis): el índice espectral pasó de -6 a -7 de 10:00 a 11:00 UT respectivamente y de -8 a -9 de 12:00 a 20:00 UT respectivamente y la dirección de llegada de protones cambió rápidamente con el tiempo, alternando periodos de gran asimetría angular con otros de progresiva simetría.

III. EL DETECTOR L3+COSMICS.

Detallado en³, combina un espectrómetro de muones formado por el conjunto de cámaras de muones de alta precisión y el campo magnético de 1000 m³ de L3 junto con

otros elementos para establecer un “trigger” de muones cósmicos ,todo ello bajo 30 m de roca. El umbral es de 19 GeV, la posición es 6.02^0 E, 46.25^0 N , 450 m sobre el nivel del mar. El corte en rigidez vertical geomagnética es 5 GV.

IV. ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS.

El espacio definido por las coordenadas $l=\text{sen}(\vartheta)\cos(\phi)$, $m=\text{sen}(\vartheta)\text{sen}(\phi)$,donde ϑ =dip, ϕ =azimut se ha dividido en 100 celdas para particiones $\Delta l=0.2$ y $\Delta m=0.2$. De ellas, debido a la aceptación del detector solo se han retenido 41 conteniendo suficiente estadística.

Tras una selección exigente de los sucesos con un solo muon y de las condiciones del detector se estableció el espectro de “tiempo de vida” durante el 14 de Julio. Calculando el ruido de fondo a partir de las 10 h. previas al SF, se hizo una búsqueda de máxima desviación estadística usando ventanas de tiempo desde 1,4 min hasta 140 min a lo largo (1) de toda la muestra y (2) de la muestra a partir del comienzo del SF, separadamente para cada celda (l,m) . La búsqueda ha concernido también segmentos de energía. Nuestro umbral es de 19 GeV y sólo detectamos una señal significativa en la muestra 19-25 GeV, en la celda con $0.2375 \leq l \leq 0.4375$, $-0.4375 \leq m \leq -0.2375$ y para la ventana de tiempos de 16,78 min. El exceso aparece entre 10:24 y 10:42 UT con 1% de probabilidad de encuentro fortuito. El rango de energías de muones 19-25 GeV corresponde a protones primarios de 40-100 GeV. La generación MonteCarlo de un haz de protones incidiendo en la atmósfera en la dirección de la celda con un espectro de índice -6 ,la producción de muones y subsiguiente seguimiento a través de la atmósfera y los 30 m de roca hasta el detector y su comparación con el espectro de fondo generado con un índice -2.7 y normalizado a las medidas de flujo hechas previamente en L3+C⁴ permiten determinar el límite superior del flujo de protones solares: $I(E_p \geq 40 \text{ GeV}) \leq 2,8 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{sr}^{-1}$ (90% c.l.)

V. CONCLUSIONES.

L3 + Cosmics ha observado un exceso de flujo de muones entre 10:24 y 10:42 UT con 99% c.l. en una región del cielo : $0.2375 \leq l \leq 0.4375$, $-0.4375 \leq m \leq -0.2375$,con ángulo sólido de 0.046 sr, coincidente con el SF del 14 de Julio de 2000. Si el exceso está asociado a los protones solares, el límite superior del flujo es :

$$I(E_p \geq 40 \text{ GeV}) \leq 2,8 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{ (90\% c.l.)}$$

VI. REFERENCIAS.

¹A.V. Belov et al., Proceedings of the 27th ICRC,3446, 2001.

²M.L. Duldig, Proceedings of the 27th ICRC, 3363, 2001.

³O. Adriani et al., Nucl. Instr. And Methods in Physics Research, A488, 209, 2002.

⁴P. Achard et al., Phys. Lett. B, B598(2004) 15-32.