

Búsqueda de neutrinos con el detector de superficie del Observatorio de Rayos Cósmicos Pierre Auger

I. Valiño¹, J. Alvarez-Muñiz¹, R.A. Vázquez¹, A.A. Watson² y E. Zas¹

¹ Depto. de Física de Partículas, Universidade de Santiago de Compostela, Facultade de Física, Campus Sur, 15782 Santiago de Compostela; mesvr@usc.es.

² Dpt. of Physics and Astronomy, University of Leeds, School of Physics and Astronomy, Leeds, UK.

I. INTRODUCCIÓN

El experimento de rayos cósmicos Pierre Auger nace como un proyecto internacional para explorar el espectro energético, dirección de llegada y la composición de los rayos cósmicos con energías superiores a 10^{19} eV (alrededor y por encima del denominado corte espectral GZK), a través de la detección de las cascadas de partículas que originan los rayos cósmicos al interactuar en la atmósfera. Su principal objetivo es incrementar la estadística existente accediendo a la bóveda celeste en los dos hemisferios. Actualmente se está llevando a cabo la construcción del observatorio del hemisferio Sur en la Pampa Amarilla (Mendoza, Argentina) cuya finalización se espera a mediados del año 2006. El observatorio Auger ¹ es un detector híbrido constituido por un dispositivo óptico (24 telescopios de fluorescencia distribuidos en 4 ubicaciones) y una red de superficie (1600 detectores Cherenkov de agua) cubriendo un área de 3000 km^2 . Actualmente más del 50% del detector están instalado y operativo (15 telescopios y 675 tanques). La combinación de ambas técnicas de detección permite realizar una calibración cruzada y lograr mayor precisión en las medidas.

En el experimento juega un papel importante la detección de cascadas atmosféricas horizontales (que inciden en la atmósfera con ángulo cenital superior a 60 grados), entre otros motivos porque constituyen el fondo más importante para la detección de cascadas generadas por neutrinos ultraenergéticos. El neutrino debido a su pequeña sección eficaz origina cascadas a gran profundidad en la atmósfera, caracterizándose éstas por tener una componente electromagnética análoga a las cascadas verticales. Este hecho abre la posibilidad de su diferenciación de las cascadas hadrónicas horizontales ordinarias (iniciadas por protones o núcleos ionizados en la parte superior de la atmósfera).

II. DETECTOR DE SUPERFICIE PIERRE AUGER

Los detectores de superficie son tanques cilíndricos de diámetro 3.6 m y altura 1.2 m, revestidos en su interior con un material reflectivo (tyvek). Cada tanque se llena con 12 m^3 de agua ultrapura. La radiación Cherenkov emitida por las partículas cargadas al propagarse en el agua, es captada por tres fotomultiplicadores. Cada canal de salida del fotomultiplicador es procesado y digitalizado por el *Flash Analogical to Digital Converter* (FADC) en bins temporales de 25 ns. La señal total del detector es la integración en tiempo de la suma de las trazas FADC registradas por los tres fotomultiplicadores. La unidad de medida de la señal es el *Vertical Equivalent Muon* (VEM), definida como la señal media depositada por un muón que atraviesa verticalmente el tanque por el centro.

Los tiempos registrados por los detectores son empleados para obtener la dirección de llegada, y la densidad de partículas en el suelo se usa para calcular la energía de la primaria.

III. BÚSQUEDA DE NEUTRINOS

Las partículas de una cascada viajan en un disco (frente) con un determinado espesor temporal y una determinada curvatura. A medida que la componente electromagnética se va atenuando en la atmósfera, el frente va disminuyendo su espesor y se va haciendo cada vez más plano (ver fig.1). Cuando el frente de una cascada hadrónica horizontal llega al suelo es prácticamente plano y muy estrecho. Mientras que si es una cascada de neutrino, al haberse producido más cerca del suelo, es una cascada “joven” cuya componente electromagnética no se encuentra atenuada, en este caso el frente es curvado y grueso.

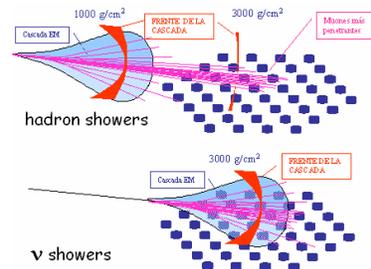


Fig.1: Representación esquemática de una cascada horizontal hadrónica y de una cascada de neutrino. El frente de la cascada hadrónica es plano y estrecho, mientras que el de la cascada de neutrino es curvado y grueso.

En este trabajo se presentan dos técnicas de búsqueda de cascadas de neutrinos dependiendo de la región en la atmósfera donde comience la cascada. Si se produce en una región suficientemente profunda (región EM) de forma que el máximo de la cascada esté cerca del suelo, se observarán unas trazas FADC en los detectores de superficie extensas en tiempo, características de la existencia de una gran componente electromagnética en la señal, pues estas partículas al sufrir gran cantidad de scattering múltiple llegan al detector en un período temporal largo. El trigger establecido en el detector Auger para observar estas señales es el denominado trigger TOT (*Time Over Threshold*). Otra característica de estas cascadas es el pequeño radio de curvatura del frente, pues se trata de cascadas “jóvenes”. De esta forma la búsqueda de sucesos que contengan triggers TOT y con un radio de curvatura pequeño proporciona candidatos a ser neutrinos.

Otra posibilidad de detección de neutrinos son las cascadas que se originan en una región intermedia (región timing) entre la región EM y la región donde se producen las cascadas hadrónicas ordinarias. En esta situación entra en juego el denominado tiempo de subida (“rise-time”) de la señal para discriminar candidatos de sucesos ordinarios. El tiempo de subida se define como el tiempo que transcurre entre que se recoge el 10% y el 50% de la señal total. Como los muones son las partículas que llegan más temprano al detector y en un período temporal más corto, este observable proporciona información sobre el espesor del frente (muónico). De esta forma la búsqueda de sucesos con valores de tiempo de subida mayores al valor característico de cascadas horizontales ordinarias y radios de curvatura pequeños proporciona candidatos a ser neutrinos.

En todo este estudio se debe tener en cuenta la distancia de los detectores al eje de la cascada, pues en cascadas ordinarias hay un halo electromagnético procedente de procesos muónicos que cerca del eje puede ser detectado.

Para realizar la discriminación entre sucesos ordinarios y los candidatos se tienen que estudiar y determinar los valores característicos de los observables tiempo de subida y radio de curvatura y la precisión de éstos en cascadas horizontales ordinarias.

Referencias

¹J. Abraham et al. [Pierre Auger Collaboration], Nucl. Instrum. Meth. A 523 (2004) 50.