

Dependencia de las asimetrías temporales en cascadas atmosféricas con la composición química

F. Arqueros¹, D. García-Pinto¹, M. T. Dova², M. E. Manceñido² y A. G. Mariazzi³

¹ Dto. Física Atómica, Molecular y Nuclear, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Físicas; diego@gae.ucm.es

² Dpto. Física, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. ³ School of Physics and Astronomy of Leeds, University of Leeds, Leeds, UK.

I. INTRODUCCIÓN

Una de las principales cuestiones relacionadas con el estudio de los rayos cósmicos de ultra-alta energía es el de su composición. El estudio de esta característica es una de las finalidades del Observatorio Pierre Auger, en avanzada fase de construcción. El método se basa en la detección de las partículas secundarias que constituyen las denominadas cascadas atmosféricas, originadas a partir de la interacción de un rayo cósmico con un núcleo de la atmósfera terrestre.

El Observatorio Pierre Auger, una vez completado, constará de una *array* de superficie formado por 1500 detectores Cherenkov de agua, cubriendo una superficie total de 3000 km², y de 4 sistemas de telescopios. De la señal electrónica generada en el *array* por las partículas que alcanzan el suelo se obtendrá información del número de partículas secundarias producidas en la cascada así como de los tiempos de llegada de dichas partículas.

La mayoría de los observables relacionados con la composición se basan en la evolución de la cascada a su paso a través de la atmósfera. Uno de los parámetros más importantes es X_{\max} definido como la profundidad atmosférica para la que se alcanza el máximo número de partículas de la cascada.

II. ASIMETRÍAS EN LAS DISTRIBUCIONES TEMPORALES

La mayoría de los detectores de superficie de rayos cósmicos realizan el análisis proyectando en el plano de la cascada las señales recogidas, despreciando la interacción con la atmósfera de las partículas tardías. Este hecho hace que, en el caso de que la dirección del rayo cósmico no sea perpendicular al plano del detector, la cascada pierde la simetría circular espera apareciendo una dependencia en ángulo polar ϕ en el plano de la cascada¹ (fig.1).

Las distribuciones de los tiempos de llegada contienen de forma implícita información del desarrollo de la cascada, y están

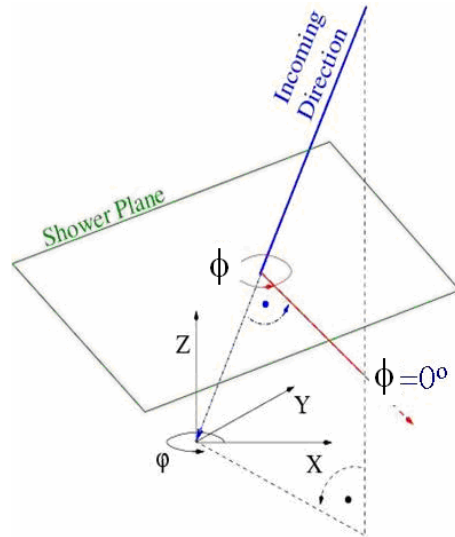


Figura 1. Esquema de los sistemas de coordenadas utilizados.

relacionadas con X_{\max} . Por tanto los parámetros de las distribuciones temporales, como su asimetría debida a la dependencia anteriormente expuesta, son funciones del desarrollo de la cascada y se pueden utilizar como parámetros para el estudio de la composición.

III. RESULTADOS

Utilizando simulaciones de Monte Carlo se han analizado las distribuciones temporales producidas por dos tipos de rayos cósmicos primarios, p y Fe. Para la simulación del desarrollo de la cascada se ha empleado el código AIRES² y para la simulación del detector el módulo SDSim incluido en el *AUGER software offline*. La simulación ha permitido obtener el tiempo de elevación (*rise-time*) t_{50-10} y el tiempo de caída (*fall-time*) t_{90-50} , definidos como el tiempo transcurrido entre el 10% y el 50% y el 50% y el 90%, respectivamente, de la señal integrada. Se ha estudiado la dependencia de t_{50-10} y t_{90-50} con el ángulo azimutal ϕ , para distintas inclinaciones de la partícula primaria. El análisis se ha realizado para el intervalo radial 600-1500 m respecto al eje de la cascada, medido en el plano de la misma. Para cada una de las distribuciones se ha realizado el ajuste

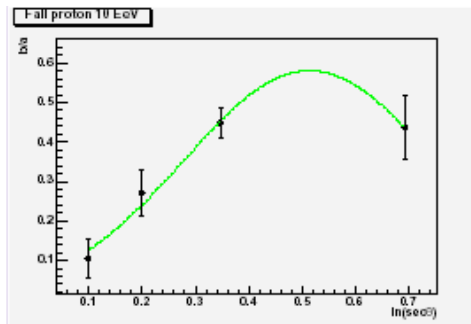


Figura 2. *Fall-time* para protones de 10 EeV vs $\ln(\sec\theta)$.

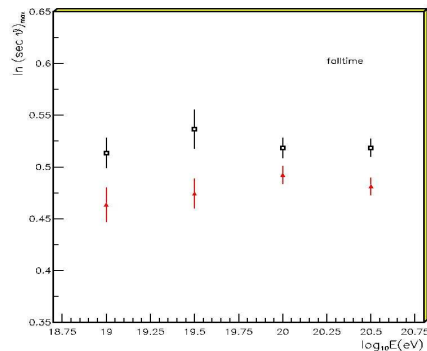


Figura 3. Máximo de asimetría vs E para p(□) y Fe(Δ)

$$t_{50-10}(\phi)/r = a + b \cos(\phi) \quad [1]$$

El parámetro de asimetría, definido³ como el cociente b/a es función de la profundidad atmosférica o equivalentemente de $\sec(\theta)$ siendo θ la dirección de incidencia del rayo cósmico. En la figura 2 se puede ver, como ejemplo, la distribución del *fall-time* para el caso de protones de 10 EeV de energía alcanzando un valor máximo a 53°. Un análisis similar se ha llevado a cabo para los demás casos.

En la figura 3 se ha representado la posición del máximo frente a la energía incidente observándose una clara separación entre ambos primarios. Este método permitirá determinar la composición de la radiación cósmica primaria. Los primeros análisis sobre datos reales muestran resultados prometedores.

¹ M. T. Dova, L. N. Epele and A. G. Mariazzi, *Astropart. Phys.* 18, 351 (2003)

² AIRES A system for air showers simulations. User's guide. Version 2.6.0. <http://www.fisica.unlp.edu.ar/auger/aires>.

³ Dova et al Auger GAP note 2005-014. A. G. Mariazzi, PhD thesis UNLP (2004).