

Efecto del campo magnético terrestre en la sensibilidad de los telescopios Cherenkov

Reyes, R. de los ¹; Contreras, J.L. ¹; Barrio, J.A. ²; Oña, E. de ¹; Fonseca, V. ¹;
López, M. ¹; Lucarelli, F. ¹ y la colaboración MAGIC

¹ Dpto. Física Atómica, Molecular y Nuclear, CC Físicas, Universidad Complutense de Madrid

² Dpto. Informática, Universidad Antonio de Nebrija de Madrid.

Uno de los efectos que condicionará el diseño y emplazamiento de los futuros telescopios Cherenkov Atmosféricos, es la influencia del campo magnético terrestre en el desarrollo de cascadas atmosféricas (llamadas EAS de su acrónimo en inglés, *Extensive Air Showers*). Este efecto se debe a la fuerza de Lorentz que se ejerce sobre las partículas cargadas secundarias (electrones y positrones principalmente), responsables a su vez de la emisión de fotones Cherenkov. La intensidad de la fuerza depende de la dirección de incidencia de las cascadas y de la intensidad del campo magnético local del lugar de observación. Eligiendo un sistema de coordenadas en el que $B_y=0$, podemos expresar la fuerza de Lorentz en función de las coordenadas horizontales θ (cenit) y ϕ (acimut) de la dirección de la cascada:

$$\vec{F} \propto (B_x \cos \mathbf{q} - B_z \text{sen } \mathbf{q} \cos \mathbf{f})\vec{i} + (B_z \text{sen } \mathbf{q} \text{sen } \mathbf{f})\vec{j} + (B_x \text{sen } \mathbf{q} \text{sen } \mathbf{f})\vec{k} \quad [1]$$

Tabla 1. Situación, componentes del campo magnético y ángulo para cuatro observatorios en rayos gamma.

	MAGIC	HESS	VERITAS	CANGAROO
ϕ (° ‘ ‘‘)	28 45 34 N	23 16 18 S	31 40 51 N	31 05 56 S
L (° ‘ ‘‘)	17 52 34 W	16 30 00 E	110 52 39 W	136 47 10 E
H (Km)	2.2	1.8	2.3	0.16
B_x (μT)	30.161	12.436	25.239	25.597
B_z (μT)	24.245	-25.872	40.962	-51.612
Θ (°)	51	26	32	26

En la tabla 1 presentamos la situación de los telescopios Cherenkov de umbral energético más bajo actualmente en construcción o en operación, los correspondientes valores del campo geomagnético terrestre para su posición, y el ángulo del vector \vec{B} , calculados según la referencia¹. Se observa que existen diferencias importantes para observatorios situados a latitudes similares, especialmente en el hemisferio sur, debido a la llamada *Anomalía del Atlántico Sur*. Los rasgos distintivos de la influencia del campo magnético son su dependencia con la dirección de incidencia y energía de la partícula primaria que da origen a la EAS. Expresando la dependencia angular dada en la ecuación 1, para un observatorio concreto en función de la declinación de las fuentes y el ángulo horario que define su posición en cada momento, obtenemos la correspondiente fuerza de Lorentz en estas coordenadas (figura 1) para el telescopio MAGIC² (La Palma).

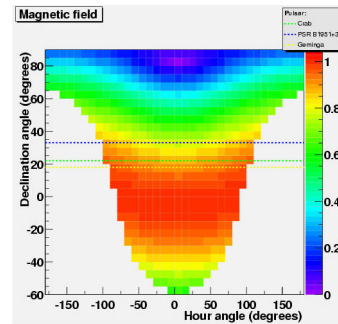


Figura 1: Fuerza de Lorentz relativa en coordenadas celestes para $\theta < 90^\circ$ (encima del horizonte). Como ejemplos se muestran las trayectorias del pulsar del Cangrejo (verde), PSRB1501+32 (azul) y Geminga (amarillo).

Podemos observar la acusada influencia de la declinación de la fuente y el impacto más reducido del ángulo horario con que se observe. No hay que olvidar que superpuesto a este efecto tendremos el debido a la absorción atmosférica, más importante en muchos casos.

Físicamente el campo magnético actúa dispersando las partículas cargadas de la cascada. Como consecuencia de ello la luz Cherenkov se reparte sobre un área más amplia de lo que lo haría en la ausencia de campo y los fotones llegan al telescopio con una mayor dispersión angular. El resultado es un descenso en el número de fotones recogidos por el reflector y una mayor dispersión angular en la imagen. La mayor diferencia se dará entre el norte ($\phi=0^\circ$) y el sur ($\phi=180^\circ$) magnéticos, y aumentará con el ángulo cenital.

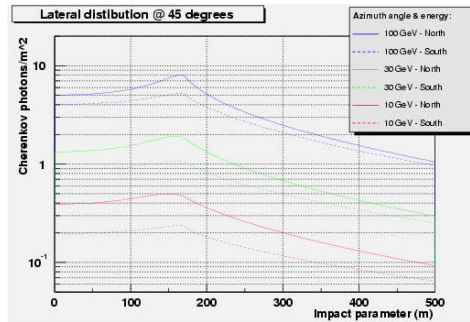


Figura 2: Distribución lateral de fotones Cherenkov para cascadas de rayos gamma de 10, 30 y 100 GeV y direcciones norte y sur a ángulo cenital de 45 grados, hasta un parámetro de impacto de 500 metros.

Hemos estudiado las diferencias entre Norte y Sur en las distribuciones laterales de luz Cherenkov; es decir, la densidad de fotones en función de la distancia al punto central de impacto de la cascada en tierra. Para ello hemos utilizado simulaciones por métodos Monte Carlo usando el programa CORSIKA³ (3) y el valor del campo magnético correspondiente a la situación de MAGIC. En la figura 2 se representan dichas distribuciones para distintas energías y un ángulo de incidencia de 45°. Podemos observar cómo la diferencia Norte-Sur aumenta al disminuir la energía, pasando de estar en torno a un 20% a 100 GeV al 50% a 10 GeV. Otro dato interesante es que las distribuciones laterales correspondientes a Norte y Sur no se igualan hasta distancias del orden de 1 km. Aunque no se muestra en la figura el efecto también se incrementa notoriamente al aumentar el ángulo cenital (10% a 15° frente a 50% a 45° para 10 GeV). Basándonos solo en las distribuciones laterales podemos deducir que las eficiencias de *trigger* de los telescopios Cherenkov de nueva generación, y por tanto sus áreas efectivas, dependerán fuertemente del ángulo acimutal debido a la influencia del campo geomagnético, a diferencia de lo que ocurre en los telescopios actuales ($E_{\text{umbral}} > 500 \text{ GeV}$). La diferencia es debida a los diferentes rangos de energía en los que operan. El efecto será especialmente importante a altos ángulos cenitales. Este hecho deberá ser tenido en cuenta a la hora de elegir un emplazamiento para los observatorios futuros y en el momento de diseñar los programas de observación de las fuentes.

Agradecimientos: A los miembros de la colaboración MAGIC por las discusiones mantenidas, en particular a O. Blanch, J. Cortina y A. Moralejo.

Referencias

- ¹ <http://www.ngdc.noaa.gov/cgi-bin/seg/gmag/flsnt1.pl>
- ² O. Blanch, 2002, An abstract view of the development of an analysis for the MAGIC Telescope, March 19.
- ³ D. Heck y J. Knapp, 2002, Extensive Air Shower simulation with CORSIKA: A user's guide, February 25.