

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa

Facultad de Ciencias Naturales y Formales

Escuela profesional de Física



Monitoreo de la estabilidad de respuesta de un prototipo de detector Cherenkov analizando el decaimiento del Muón

Tesis presentada por:
Quispe Calloapaza, David Saúl
Quispe Mamani, Sonia Diana

Para optar el grado de:
Bachiller en Física

Asesores:
Mg. Rolando Moisés Perca
Gonzáles
Msc. Luis Otiniano Ormachea
Dr. José Bellido Cáceres

Arequipa - Perú
2021

Índice general

1. Introducción	7
2. Rayos Cósmicos	9
3. Cascadas atmosféricas y efecto Cherenkov	13
3.1. Cascadas atmosféricas	13
3.2. Efecto Cherenkov	15

Índice de figuras

- 2.1. Espectro de flujo de rayos cósmicos a altas energías, multiplicado por $E^{2.6}$ para una mejor observación, en función de la energía [Mollerach and Roulet, 2018]. 10
- 3.1. Desarrollo longitudinal de una casacada puramente electromagnética y una cascada hadrónica. Los puntos negros representan el lugar de la interacción de la partícula con un núcleo de la atmósfera [Mollerach and Roulet, 2018]. 14

Capítulo 1

Introducción

Con la llegada, en 1906, del telescopio óptico de Galileo, se obtuvo el primer avance en las observaciones del universo, que en ese contexto se podían hacer únicamente empleando los ojos de manera directa. Se expandió por primera vez el universo observable para el hombre. Más adelante, nos dimos cuenta que el telescopio era un instrumento limitado para observar el universo, debido a que únicamente podíamos observar la región visible del espectro electromagnético [[Vazquez, 2011](#)]. Más adelante se emplearían métodos novedosos para observar regiones, del espectro electromagnético, fuera del visible.

El físico austriaco Víctor Hess entre los años 1911-1912 realizó experimentos cruciales, los cuales ponían en manifiesto la existencia de una radiación cuyo origen era del espacio exterior. Hess publicó los resultados de sus experimentos concluyendo lo siguiente: "Los resultados de estas observaciones parecen poder interpretarse admitiendo sencillamente que una radiación con gran poder de penetración procede de la parte superior de la atmósfera y, aunque progresivamente atenuada por ésta, produce, incluso en las zonas más bajas, una parte de la ionización observada en las cámaras cerradas. La intensidad de esta radiación

parece estar afectada por pequeñas variaciones aleatorias"[[De Lugo, 2011](#)].

Hoy en día, se emplean distintos tipos de detectores para poder observar el universo en un rango más amplio de energía, todo esto con el fin de saber lo que hay y como ha ido evolucionando nuestro universo. Los rayos gamma de alta energía, por ejemplo, son producidos en fenómenos llamados GRB (destello de rayos gamma por sus siglas en inglés Gamma Ray Burst) que toman lugar en fenómenos muy violentos en universo como colisión de estrellas masivas, nucleos activos de galaxia, explosiones de estrellas tipo supernova, etc [[Pérez, 2009](#)]. Por lo que la detección de esta radiación proveniente del espacio exterior nos brinda aún más conocimiento sobre lo sucede en el universo y la evolución de este.

Capítulo 2

Rayos Cósmicos

Uno de los rangos de interés para la astrofísica son los rayos cósmicos (CR's por sus siglas en inglés Cosmic Rays) de alta energía. Los CR's consisten en su mayoría de núcleos atómicos ionizados, además de electrones, positrones, antiprotones, rayos gamma y neutrinos que van llegando a la Tierra de algún lugar en el universo, también se les conoce como CRs primarios. Estos CR's se extienden desde poco menos de 1GeV hasta más allá de los 100EeV. Con el objetivo de observarlos se han empleado diferentes técnicas de detección dependiendo del rango de energía en estudio.

Por ejemplo, por debajo de pocos cientos de TeV, los CR's tienen un flujo muy grande de $5 \times 10^6 \text{m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{yr}^{-1}$, y pueden ser detectado de manera directa por satélites antes de que estos interaccionen con la atmósfera. Pero para CRs con pocos cientos por encima de los TeV el flujo de estos llegan a un valor menor de $50 \text{m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{yr}^{-1}$ [Mollerach and Roulet, 2018], donde la detección directa ya no es práctica, pues se tendría que tener satélites capaces de abarcar grandes áreas, por lo que se recurren a métodos de detección indirectos que se explicará más adelante. Entonces, la construcción de estaciones de capaces de detectar rayos

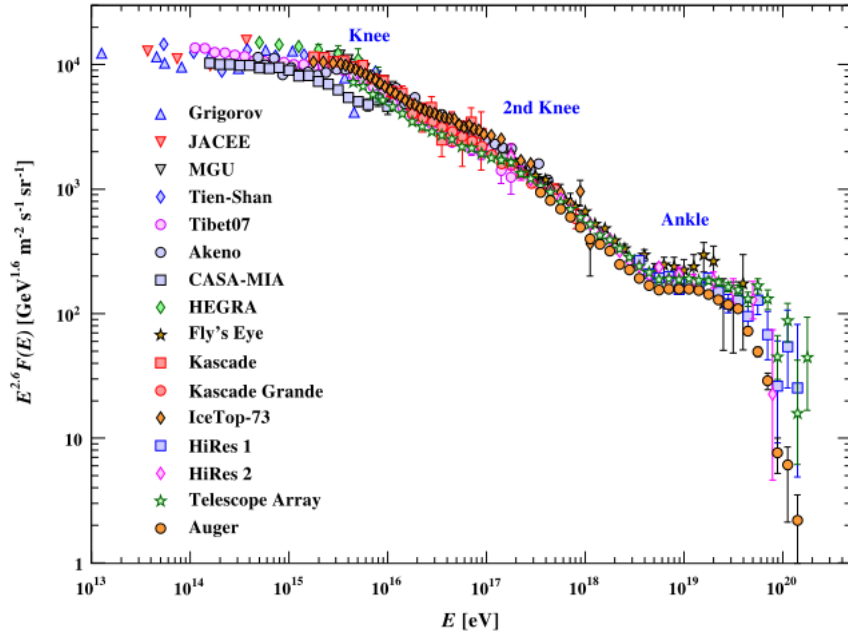


Figura 2.1: Espectro de flujo de rayos cósmicos a altas energías, multiplicado por $E^{2.6}$ para una mejor observación, en función de la energía [Mollerach and Roulet, 2018].

cósmicos en distintas partes del mundo, brindan información para ampliar el conocimiento del universo observable en astrofísica.

La figura 2.1, nos muestra el espectro de flujo de CR's a altas energías, este espectro sigue una ley de potencias de aproximadamente $d\phi/dE \propto E^{-\gamma}$ con un valor de $\gamma \simeq 3$, este espectro muestra algunas interesantes características.

- Por encima de pocos cientos de GeV hasta pocos cientos de PeV, el espectro muestra un valor de $\gamma \simeq 2,7$.
- En la zona conocida como primera rodilla o “kne”($\sim 4\text{PeV}$) el espectro cambia a $\gamma \simeq 3$.
- En la zona conocida como segunda rodilla o “seoncd knee”($\sim 0,1\text{EeV}$) el espectro cambia a $\gamma \simeq 3,3$.
- En la zona concida como tobillo o “ankle”($\sim 5\text{EeV}$), el espectro cambia nuevamente

con $\gamma \simeq 2,6$.

Note que el flujo determinado por varios experimentos varía debido a las técnicas de detección y calibración de energía usado en los distintos experimentos. Además de que, para la detección de CR de altas energías se estudian las cascadas atmosféricas formadas por estos, ver sec. [3.1](#).

Capítulo 3

Cascadas atmosféricas y efecto

Cherenkov

3.1. Cascadas atmosféricas

Las cascadas atmosféricas (o EAS por sus siglas en inglés Extensive Air Shower) tienen su origen gracias a la interacción de un CR primario, que llega a la Tierra, con la atmósfera terrestre. La mayor parte de estas EAS son iniciadas por CR con energías mayores a 10^{13} eV o 10 TeV. Cuando estos procesos de colisión son dominados por hadrones se forma lo que conoce como cascada hadrónica, que se propaga en la dirección del momento inicial de la partícula primaria. Luego, muones y neutrinos se forman a partir del decaimiento de piones cargados y kaones, formandose también lo que se conoce como cascada muónica.

Los piones neutros y otras partículas decaen en electrones y rayos gamma, formándose así la cascada electromagnética. Aquí se involucran procesos como creación de pares y Bremsstrahlung. De esta manera, una partícula primaria con alta energía puede generar una

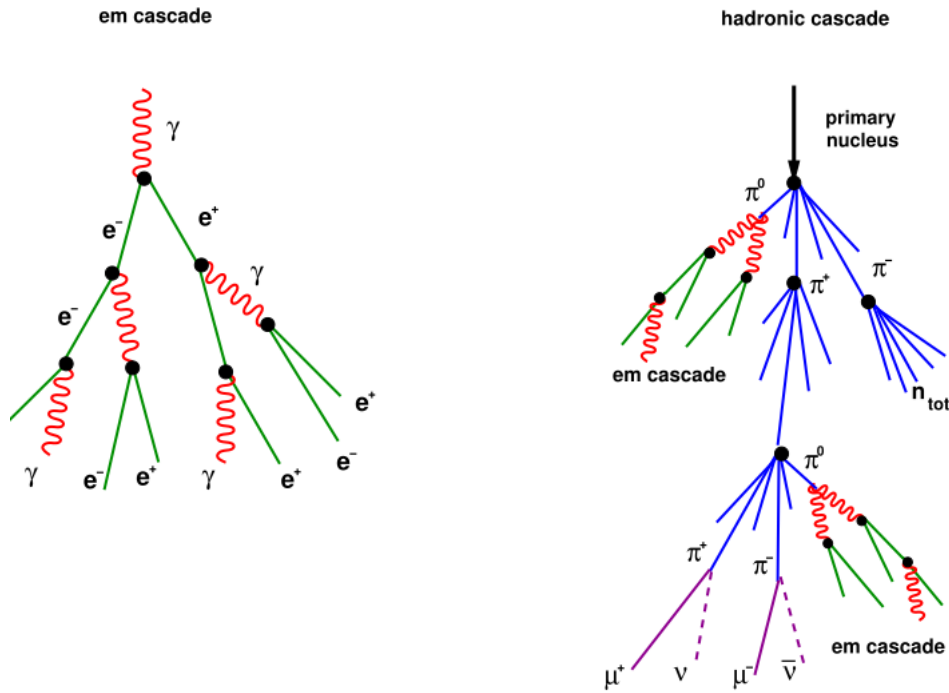


Figura 3.1: Desarrollo longitudinal de una cascada puramente electromagnética y una cascada hadrónica. Los puntos negros representan el lugar de la interacción de la partícula con un núcleo de la atmósfera [Mollerach and Roulet, 2018].

cascada con gran cantidad de partículas y fotones [Grieder, 2010]. Dichas cascadas se propagan esencialmente a la velocidad de la luz y pueden alcanzar la superficie terrestre si el CR primario es suficientemente energético.

Las cascadas pueden ser iniciadas por hadrones, fotones y electrones, las cascadas iniciadas por fotones o electrones se les conoce como cascadas puramente electromagnéticas. Los fotones de alta energía interactúan con los núcleos de la atmósfera generando la creación de pares e^+ y e^- , los electrones y positrones interactúan con los núcleos de la atmósfera para producir fotones mediante Bremsstrahlung [Mollerach and Roulet, 2018]. A este desarrollo de las cascadas a lo largo de la profundidad atmosférica (medida en gm/cm^2) se le conoce como desarrollo longitudinal, la figura 3.1 nos muestra el desarrollo longitudinal de una cascada puramente electromagnética (iniciada por un fotón) y una cascada hadrónica.

3.2. Efecto Cherenkov

Bibliografía

- [De Lugo, 2011] De Lugo, B. (2011). Cien años de Rayos Cósmicos). *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat*, pages 1–2.
- [Grieder, 2010] Grieder, P. K. F. (2010). *Extensive Air Showers : High Energy Phenomena and Astrophysical Aspects - A Tutorial, Reference Manual and Data Book*. Springer Berlin Heidelberg.
- [Mollerach and Roulet, 2018] Mollerach, S. and Roulet, E. (2018). Progress in high-energy cosmic ray physics. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 98:85–118.
- [Pérez, 2009] Pérez, Y. (2009). Caracterización de detectores cherenkov en el proyecto lago.
- [Vazquez, 2011] Vazquez, O. (2011). Primer prototipo hawc: Un observatorio de rayos gamma.