

EJERCICIOS RAYOS CÓSMICOS

Jessica Andrea Hernández Sanguino

LA-CoNGA Physics, Colombia

EJERCICIO 1

Planteamiento

¿Cuál es el efecto que hace que los rayos cósmicos de muy baja energía no puedan penetrar hasta la superficie de nuestro planeta? En particular, ¿cuál es la mínima energía que debe tener un protón para poder ser detectado por un experimento a una latitud cero?

Solución

Partiendo del hecho que, en su mayoría, los rayos cósmicos corresponden a partículas cargadas, se tiene que estos se verán afectados por el campo geomagnético en su trayectoria hacia la atmósfera terrestre. De este modo, el principal efecto por el cual los rayos cósmicos de baja energía son desviados es a causa de las líneas del campo magnético terrestre, haciendo que estos no penetren la superficie de nuestro planeta. Ya que los rayos cósmicos de baja energía son aquellos con energía menor a $10^9 [eV]$, consideraría esta como la energía mínima requerida para que un protón pueda penetrar la superficie y llegar a ser detectado.

EJERCICIO 2

Planteamiento

¿Pueden los remanentes de supernovas en general acelerar protones hasta $10^{20} [eV]$? Sean tan cuantitativos como sea posible.

Solución

Los remanentes de supernovas se han confirmado como posibles fuentes de rayos cósmicos, a partir de las observaciones de espectro que se tienen de supernovas se sabe que estas pueden acelerar partículas hasta la rodilla del espectro, lo que cuantitativamente equivale a aproximadamente $10^{15} [eV]$. Sin embargo, debido al tamaño de la fuente es muy complicado poder extender el espectro de energía de esta fuente a $10^{18} [eV]$ o más altas energías; por lo tanto, se considera que las remanentes de supernovas no podrían acelerar protones hasta energías de $10^{20} [eV]$. Para poder llegar a estos niveles de energía, según lo representado en el

gráfico de Hillas (Figura 1), la zona de aceleración debe comprender un área muy grande y estar caracterizada por grandes campos magnéticos, condiciones que se pueden presentar en objetos compactos y núcleos de galaxias activas, entre otros.

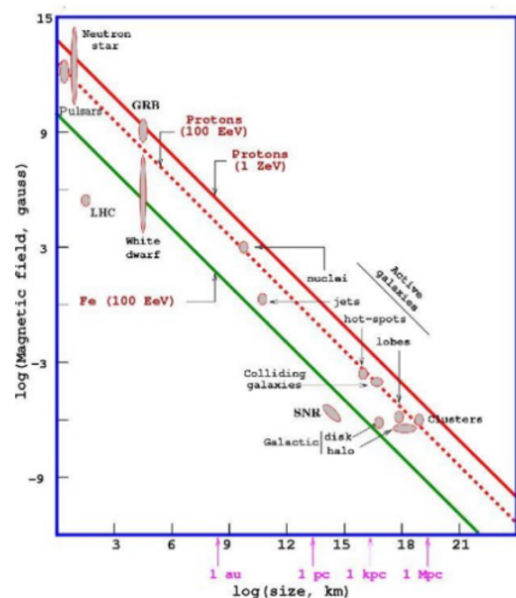


Figura 1: Determinación de los mecanismos de aceleración para partículas cósmicas según Hillas.

EJERCICIO 3

Planteamiento

¿Cuál es el principal argumento para rechazar la hipótesis que los rayos cósmicos con energías superiores a $10^{19} [eV]$ son de origen galáctico?

Solución

El mecanismo de aceleración para alcanzar este tipo de energías debe ser extragaláctico, teniendo en consideración el tamaño que debería tener la fuente para poder acelerar las partículas hasta

estas energías, las fuentes deben ser fenómenos violentos con gran liberación de energía, en consecuencia, estos deben tener lugar fuera de nuestra Galaxia.

EJERCICIO 4

Planteamiento

Usando el gráfico presentado en clase (Figura 2), ¿cuál es la fracción de rayos cósmicos livianos a 100[GeV]? Es decir, el porcentaje de protones y núcleos de He con respecto al total de los rayos cósmicos a esa energía.

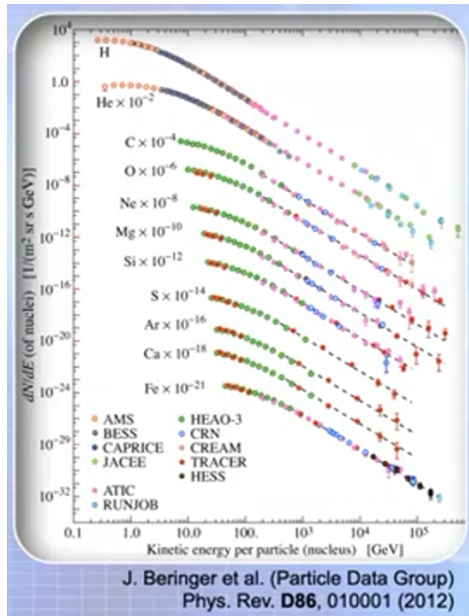


Figura 2: Espectro energético de rayos cósmicos.

Solución

Partiendo del hecho que a 1[GeV] se detecta 1[partícula/m².sr] y basados en la información proporcionada por la figura 2 se tiene que el corte de la curva de H a una energía de 100[GeV] equivale aproximadamente a 10^{-1} [protones/m².sr], relacionando esta información se concluye que por cada 10 partículas detectadas 1 será protón, dando un porcentaje del 10 % para detección de protones.

Aplicando la misma estrategia para el He, el corte de la curva se da a aproximadamente 10^{-4} [He/m².sr] en 100[GeV], obteniendo que por cada 10000 partículas 1 será He, dando un porcentaje de 0,01 %.

EJERCICIO 5

Planteamiento

¿Cuál es la componente electrónica primaria a energías de varios GeV? ¿Qué fracción son electrones y qué fracción son positrones?

Solución

La composición de rayos cósmicos de altas energías está ligada al tipo de rayo cósmico en cuestión. Cuando se trata de rayos cósmicos primarios, aquellos extragalácticos provenientes de procesos astrofísicos muy energéticos, se tiene que están compuestos principalmente por protones y partículas alfa, se estima que en un aproximado al 99 %; menos del 1 % se asocia a núcleos pesados y una ínfima cantidad a positrones y antiprotones. Para el caso de los rayos cósmicos secundarios, debidos al decaimiento de los primarios al entrar en contacto con la atmósfera terrestre, se tiene que su composición incluye fotones, leptones y hadrones, así como electrones, positrones, muones y piones.

EJERCICIO 6

Planteamiento

La primera teoría cuantitativa que hizo predicciones capaces de ser comparadas con las observaciones fue la que Enrico Fermi formuló en 1949 basada en el principio de que las partículas cargadas pueden ganar energía al chocar con nubes magnetizadas de velocidades distribuidas al azar. ¿Cuáles son los problemas que presenta este modelo?

Solución

El principal problema del mecanismo de Fermi de segundo orden es que tiene una dependencia cuadrada con la velocidad de las nubes magnetizadas que aceleran la partícula, teniendo que las velocidades de estas nubes son muy bajas, la cantidad de energía ganada por la partícula en cada colisión es mínima; por lo cual, este proceso de aceleración resulta ser muy lento y poco eficiente. Hecho que llevó a la reformulación del mecanismo, dando origen al mecanismo de Fermi de primer orden, asociado a frentes de choque.

EJERCICIO 8

Planteamiento

El experimento AGASA detectó 11 rayos cósmicos con energías superiores a 10^{20} [eV] en sus 10 años de operación. Si este flujo es correcto, ¿Cuántos rayos cósmicos de esa misma energía debería haber visto el observatorio Pierre Auger desde 2007 hasta hoy? Compara tu resultado con la publicación más reciente de la colaboración Auger.

Solución

Para poder llevar a cabo la comparativa, se presentarán primero las condiciones del experimento AGASA y del observatorio Pierre Auger. Empezaremos con el primer caso, el experimento AGASA, para este tenemos que el área comprendida son 100[km²]. A partir de la literatura se conoce que para rayos cósmicos de ultra alta energía la relación es de:

$$1 \text{ rayo} : 1 \text{ km}^2 : 1 \text{ año}$$

Teniendo que un aumento en el área refleja un aumento en el tiempo de medición se tiene:

1rayo : 10km^2 : 10años

Y, finalmente, un aumento en el área de medición también repercute en la cantidad de rayos detectados, se llega a:

10rayos : 100km^2 : 10años

Comparando este resultado con el reflejado en el experimento AGASA se tiene que el experimento logró detectar un rayo más bajo las condiciones de medición planteadas, ya que su relación se describe de la forma

11rayos : 100km^2 : 10años

Ahora, fijándonos en las condiciones postuladas para el observatorio Pierre Auger (tomadas del artículo [1]) se llega a que en un periodo de medición de 15 años con un área de medición de $3000[\text{km}^2]$ la relación quedaría descrita de la forma:

200rayos : 3000km^2 : 15años

EJERCICIO 9

Planteamiento

La observación de partículas extremadamente energéticas incentivó a la creación de modelos alternativos basados en la desintegración de partículas supermasivas, conocidos como modelos “top-down”. ¿Qué resultado(s) experimental(es) pone(n) las restricciones más fuertes en estos modelos?

Solución

En el modelo “top-down” se considera que las partículas son creadas o nacn con estas altas energías, a partir de este planteamiento se da lugar a nueva física; sin embargo, para poder

llevar a cabo mediciones experimentales algunos de los grandes limitantes que se tienen es el tiempo de medición que requiere y el área que comprendería el montaje, considerando también de forma intrínseca los costos que ello conllevaría. Estas limitantes son debidas al bajo flujo de rayos cósmicos a estas altas energías.

EJERCICIO 10

Planteamiento

¿Por qué no hay un estudio de anisotropía para energías por encima de $5 \times 10^{19}[\text{eV}]$ hecho solo con rayos cósmicos con un alto valor de X_{max} ? (Es decir, rayos cósmicos con una alta probabilidad de ser protones).

Solución

El motivo está asociado a las limitaciones experimentales, ya que se requeriría un gran tiempo de medición y también demandaría un área de detección demasiado amplia, condiciones que no se poseen actualmente para el estudio adecuado a estos niveles de energía.

Referencias

- [1] Castellina, A. (2019). Highlights from the Pierre Auger Observatory (ICRC2019). arXiv preprint arXiv:1909.10791.