

26a

CONVENCION DE ASTRONOMIA



SABADELL
14, 15, 16 MARZO
2025

Más allá de la observación, promoviendo la colaboración PRO-AM

Rayos cósmicos: mensajeros del Universo y su impacto en la Astronomía Observacional

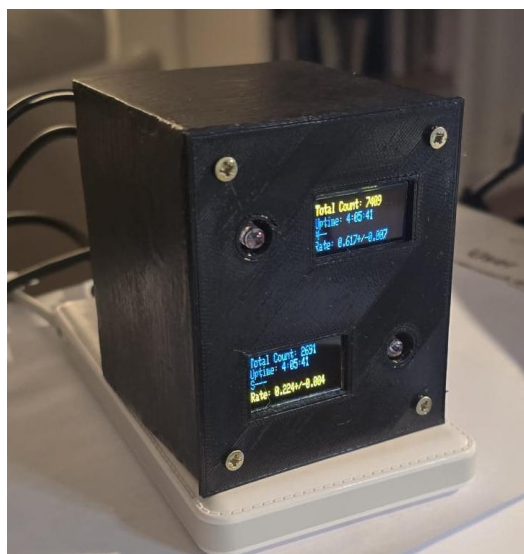
Javier de Elías



Vamos a hablar de rayos cósmicos. Realmente, mi interés en esta charla y en este tema surge con este pequeño instrumento que veis aquí, fabricado a finales del año pasado. Esto, que aparentemente parece un invento un poco extraño, es un telescopio. Es un telescopio de rayos cósmicos secundarios.

Es un instrumento muy pequeño, pero lo podemos asimilar a un telescopio con una abertura de 5 cm^2 , con una focal ajustable (después veremos cómo). En esta configuración tiene una focal muy corta, y veremos también cómo funciona, para qué sirve y en qué tipo de proyecto se puede utilizar.

Este telescopio tiene un aspecto interesante: da igual que haga buen o mal tiempo. Pero no solo eso, sino que ahora mismo lo estamos utilizando aquí, a cubierto, en un primer piso de un edificio, y estamos capturando y midiendo rayos cósmicos. Cada vez que estos dos LEDs parpadean de forma simultánea significa que estamos recibiendo, capturando y midiendo un rayo cósmico.



Telescopio de rayos cósmico

¿Qué son los rayos cósmicos? La verdad es que, cuando empecé con esta inquietud y con la fabricación de este aparato, tenía una idea muy vaga de qué son los rayos cósmicos. Ahora sé un poco más, pero no mucho, porque es un tema tremendamente amplio e interesante, del que sigo aprendiendo continuamente.

Hice una prueba en casa con mi hijo pequeño y le pregunté si sabía qué son los rayos cósmicos, y su respuesta me sorprendió mucho, ya que me dijo que los rayos cósmicos son partículas espaciales. Además, me contó una anécdota que desconocía por completo: en una competición de videojuegos con Super Mario 64, de repente el icónico protagonista de Nintendo atravesó un techo y nadie entendió por qué. Eso era imposible dentro de la metodología del juego y con las posibilidades que daban los controles. Al analizar el evento, la única explicación posible fue que un bit cambió de 1 a 0. Y la única explicación que se encontró fue que había sido causada por una partícula espacial, por un rayo cósmico.

Vamos a intentar desentrañar esas partículas espaciales de las que hablaba mi hijo. ¿En qué consisten? ¿Qué son? ¿De dónde vienen? ¿Y qué significan? Lo más importante es que son partículas cargadas, muy energéticas y altamente aceleradas. Precisamente por tener carga, han sido aceleradas en su camino hasta la Tierra.

Aproximadamente un 85 % de los rayos cósmicos son protones, un 8-10 % son partículas alfa, y hay un pequeño porcentaje—entre un 1 y un 3 %—que son electrones, positrones e incluso átomos más masivos como oxígeno, carbono o hierro ionizados. Siempre ionizados, porque una partícula debe tener carga para ser considerada un rayo cósmico. Si nos fijamos, esta distribución refleja, en cierto modo, la composición del universo. Sabemos que el elemento más abundante en el universo es el hidrógeno, y un protón no deja de ser un hidrógeno ionizado. El segundo elemento más abundante es el helio, y una partícula alfa no es más que un núcleo de helio ionizado.

¿De dónde vienen? Una parte proviene del Sol, aproximadamente un 5-10 %, pero la mayor parte proviene de nuestra galaxia y de fuera de ella. Existen rayos cósmicos galácticos y extragalácticos, aunque la mayoría son galácticos.



Procedencia de los rayos cósmicos

¿Qué interés tienen los rayos cósmicos? Me parece un tema crucial. En la charla anterior, Juan Fabregat hablaba de que la astronomía moderna es una astronomía multimensajero. Se estudian los neutrinos, los rayos gamma, los rayos X, las ondas gravitacionales y, por supuesto, los fotones del espectro visible. Pero también los rayos cósmicos contribuyen de forma muy importante a esta astronomía multimensajero.

La característica más relevante de estas partículas es que son extremadamente energéticas. Pongamos esto en contexto. Juan también mencionó el Gran Colisionador de Hadrones, el mayor acelerador de partículas del mundo, con una circunferencia de 27 kilómetros, donde los protones alcanzan energías del orden de 10^{12} electronvoltios (teraelectronvoltios). Ahí se descubrió el bosón de Higgs en 2012. Sin embargo, los rayos cósmicos pueden llegar a tener energías del orden de 10^{20} electronvoltios, ocho magnitudes por encima. Son mensajeros de una energía descomunal.

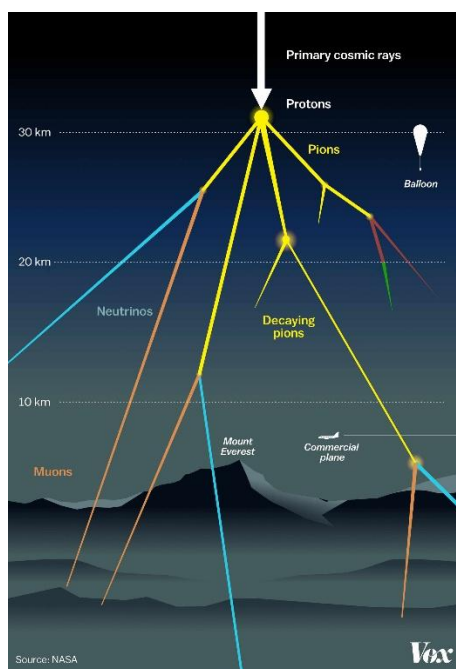
Si quisiéramos construir un acelerador de partículas capaz de generar estas energías, necesitaríamos que su circunferencia fuera del tamaño de la órbita de Mercurio. Es decir, no podemos fabricar un acelerador de partículas en la Tierra que genere esas energías; tenemos que contar con los rayos cósmicos para contribuir a la astronomía multimensajero.

Las partículas cargadas de los rayos cósmicos se crean en algunos de los eventos más energéticos del universo. Por ejemplo, los remanentes de supernovas generan ondas de choque que pueden acelerar protones y núcleos de helio a velocidades cercanas a la luz. También las estrellas de neutrones, los agujeros negros y los chorros relativistas en núcleos activos de galaxias contribuyen a este fenómeno.

Sin embargo, no todo son buenas noticias. Aunque los rayos cósmicos son mensajeros extraordinarios, también son mensajeros imperfectos. A diferencia de los neutrinos, que viajan en línea recta sin ser afectados por campos magnéticos, los rayos cósmicos son partículas cargadas y pueden ser desviados por los campos magnéticos galácticos e intergalácticos.

Además, hay un límite en la distancia desde la que podemos recibirlos. Se estima que este límite está en unos 100 megapársecs debido a interacciones con el fondo cósmico de microondas. Esta distancia es colosal en términos astronómicos y nos permite estudiar eventos extragalácticos muy interesantes.

Por otro lado, un aspecto que me interesa especialmente es que un aficionado puede detectarlos. Ahora mismo, en el tiempo que llevamos aquí, hemos detectado una tasa de aproximadamente 0,2 rayos cósmicos secundarios por segundo.



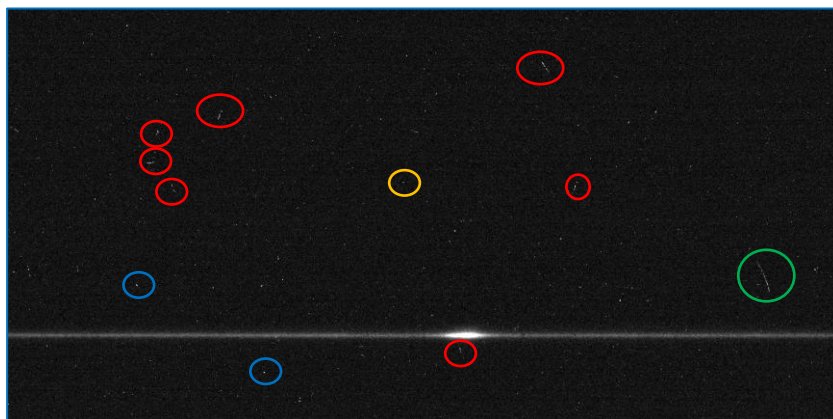
Rayos cósmicos secundarios

Pero hay que hacer una distinción: los rayos cósmicos primarios son los que provienen directamente del espacio, pero al interactuar con la atmósfera terrestre, generan una cascada de partículas secundarias. La mayoría de los rayos que detectamos son secundarios. Imaginemos que llega un protón muy energético a la Tierra (rayo cósmico primario). A unos 30 km de altitud, ese protón choca contra un átomo o molécula de la atmósfera, y se desencadena una reacción en la que se obtienen piones positivos, piones negativos, kaones positivos, kaones negativos, etc. Tanto los piones como los kaones son partículas muy inestables y se desintegran en otras partículas. Por ejemplo, un pión positivo se desintegra en un muón más un neutrino. El neutrino nos atraviesa y ni nos enteramos, pero el muón sí lo detectamos con nuestro detector.

La tasa estándar detectada a nivel del mar es de un muón por centímetro cuadrado y por segundo. Ahora mismo, si ponemos la mano horizontalmente nos atravesarán toda esta cantidad de muones, pero no os preocupéis en absoluto porque viajan al 99,9 % de la velocidad de la luz y no tienen tiempo para depositar energía al atravesar nuestro cuerpo.

Y otra cosa curiosa: el muon vive 2,2 microsegundos. Si hacemos un cálculo nos sale que a la velocidad que se mueve solo puede recorrer unos 660 m, y por lo tanto no pueden llegar a la superficie de la Tierra. Pero al moverse a velocidades relativistas interviene la dilatación temporal y sí que llegan.

Pasamos ahora al concepto que, desde el punto de vista observacional, un aficionado está más familiarizado. Nosotros vemos los rayos cósmicos como trazas en nuestras imágenes. Por ejemplo, esta es una imagen de T Corona Borealis y aparecen varias trazas de rayos cósmicos.



Fotografía de T Cr B con trazas de rayos cósmicos

Algunas trazas son de muones, pero otras son de otras partículas. Debemos pensar que los sensores no son bidimensionales sino tridimensionales, del orden de 10 a 300 micras de profundidad.

¿Cómo funciona un telescopio de muones? Funciona con un centellador, que es un plástico que cuando le atraviesa una partícula energética o bien cuando se deposita en ella, genera una cascada de fotones. En concreto, el telescopio que yo estoy utilizando tiene una abertura de 5x5 cm y cuando se deposita un muon genera fotones en 425 nm. Los datos se muestran en una pantalla en tiempo real y se pueden grabar en un PC o en una micro SD. De hecho, se colocan dos detectores en paralelo para asegurarnos que se trata de un muon que los atraviesa y no de otra cosa.

Y muy brevemente quería comentar los proyectos en los que estamos pensando en utilizar este dispositivo. Aprovechando la circunstancia de los tres eclipses que tenemos en ciernes,

queremos estudiar la influencia de los eclipses de Sol en los rayos cósmicos secundarios. Esto ya se ha hecho, pero no por aficionados o por lo menos de forma razonablemente seria.

¿Y por qué un eclipse afecta los rayos cósmicos secundarios? ¿Porque la Luna los tapa? No, sólo un 10% de los rayos cósmicos primarios proceden del Sol, pero no generan rayos cósmicos secundarios al no tener suficiente energía. Luego el bloqueo del Sol por la Luna no disminuye rayos cósmicos secundarios procedentes del Sol. La luna sí bloquea rayos X procedentes del Sol afectando a la ionosfera, y en consecuencia a la actividad geomagnética. Esto sí podría afectar a la recepción de rayos cósmicos secundarios procedentes de la galaxia y extra galácticos.

Y ahí es donde surgen estos dos proyectos. El primero es un proyecto coordinado con la Asociación Astronómica de Madrid, en el que intentaremos poner un detector en un globo sonda a unos 30 km de altura. Aprovecharemos también para obtener imágenes y medir otros parámetros. Y el segundo será un estudio de la influencia de los eclipses de Sol en el campo magnético terrestre mediante una red de detectores de rayos cósmicos en superficie. Para ambos proyectos se usará una nueva versión con extraordinarias nuevas prestaciones. Si alguien está interesado en fabricar un detector (y quizás participar en los proyectos) contactar conmigo.

Como conclusión, los rayos cósmicos, que a veces hayamos pensado que son esas cosas molestas, que son trazas en nuestras imágenes, son mucho más. Son unos mensajeros muy interesantes de fenómenos galácticos y extragalácticos, de fenómenos violentos. Y es una oportunidad para los aficionados para tener un método más de observación.



L'ASTRONÒMICA
DE SABADELL