

ESTUDIO DE LAS INTERACCIONES FUNDAMENTALES DE LAS PARTÍCULAS CON EL OBSERVATORIO PIERRE AUGER

El Observatorio Pierre Auger es el mayor observatorio del mundo dedicado al estudio de los rayos cósmicos de ultra alta energía (UHECR, por sus siglas en inglés). Estos pueden ser protones (las partículas con carga positiva que se encuentran en los núcleos atómicos) o núcleos más pesados, acelerados en entornos extremos a lo largo de nuestro Universo. Después de viajar a través del espacio intergaláctico, colisionan con la atmósfera terrestre, depositando cantidades enormes de energía. Un solo protón con una energía de 10^{20} eV transporta tanta energía como la que nuestros cuerpos obtienen de un grano de azúcar. Sin embargo, si los billones de protones y neutrones presentes en ese grano tuvieran cada uno tanta energía como este rayo cósmico, ¡juntos podrían abastecer de energía a nuestra civilización durante más de 10 años!

Cuando un rayo cósmico colisiona con la atmósfera, produce miles de partículas nuevas, que vuelven a interactuar una y otra vez, creando una cascada conocida como lluvia atmosférica de partículas secundarias (Fig. 1). Parte de la energía es transportada por las llamadas partículas hadrónicas y, a través de numerosas etapas de la cascada, da lugar a muones (parientes más pesados de los electrones). El resto de la energía se transfiere a electrones (como los que se desplazan por los cables eléctricos que suministran energía a nuestros hogares), positrones (la antipartícula del electrón) y fotones (las partículas de la luz). Al principio, la cascada crece a medida que las partículas energéticas producen más partículas. Finalmente, pierden suficiente energía como para que su número comience a disminuir. La profundidad atmosférica en la que la cascada alcanza su tamaño máximo se denomina $X_{\max}$.

El Observatorio Pierre Auger mide $X_{\max}$ con gran precisión. Es importante destacar que el valor de $X_{\max}$ es muy sensible a cómo se producen estas colisiones de alta energía. Esto es crucial porque no contamos con una teoría que pueda predecir de manera única estas interacciones, ni con datos que permitan estudiarlas mediante aceleradores construidos por el ser humano a energías tan extremas. Pero Auger sí puede estudiarlas. Entonces, ¿qué hicimos?

1. Utilizamos diferentes descripciones de las colisiones de alta energía —los denominados modelos de interacción hadrónica— para simular las cascadas atmosféricas y compararlas con los datos de Auger. Ninguno de los modelos podía reproducir simultáneamente todas las observaciones. Para lograr concordancia con los datos, las cascadas deben alcanzar valores de $X_{\max}$ mucho mayores y producir aproximadamente un 20 % más de muones.

2. A continuación, nos preguntamos: ¿cuánto debería cambiar la primera colisión (el primer paso de la cascada) para producir tanto un valor mayor de $X_{\max}$ como un mayor número de muones? Los cambios en esta interacción afectan la manera en que la energía del rayo cósmico se distribuye entre las partículas producidas. Las diferentes formas de distribuir esta energía se describen mediante distintos valores de las denominadas cantidades de producción multiparticular. Una de estas cantidades es la fracción de energía transferida a los hadrones, α_{had} (alfa). Otra es ζ (zeta), que mide cuán asimétricamente se distribuye la energía del rayo cósmico (es decir, si todas las partículas producidas comparten una fracción similar de la energía primaria o si unas pocas transportan mucha más energía que las demás).

Estas variables están estrechamente relacionadas con $X_{\max}$, lo que nos permite plantear el problema a la inversa: dado el valor de $X_{\max}$ medido por Auger, ¿qué valores deben tener estas cantidades? En la Fig. 2, los puntos sólidos representan las predicciones de los modelos, mientras que los puntos vacíos muestran los valores favorecidos por los datos de Auger.

Interpretar estas cantidades puede resultar complicado, pero α_{had} tiene un significado particularmente intuitivo: cuanto mayor es su valor, más muones cabe esperar. Así pues, los mismos cambios predichos por los valores más elevados de $X_{\max}$ conducen también a una mayor cantidad de muones, ¡tal y como sugieren los datos de Auger!

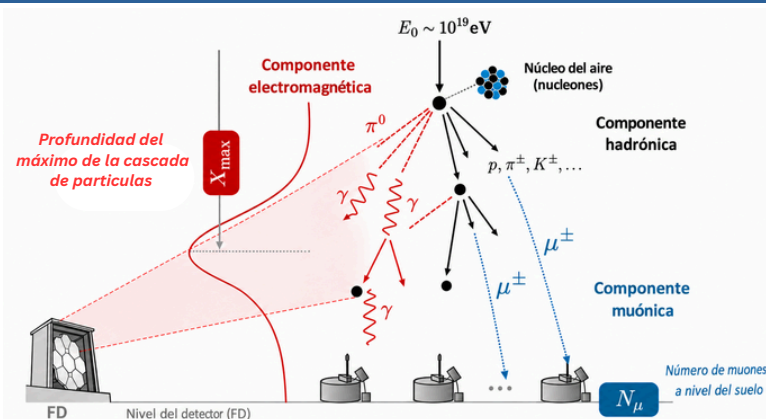


Fig. 1: Esquema de una lluvia atmosférica extensa iniciada por un rayo cósmico de energía ultra elevada. Las partículas que tienden a desintegrarse en muones se muestran en negro. Los muones aparecen en azul, mientras que las partículas de la componente electromagnética se representan en rojo. El Detector de Fluorescencia (FD) mide $X_{\max}$ y el Detector de Agua-Cherenkov (WCD) mide el contenido de partículas de la lluvia a nivel del suelo.

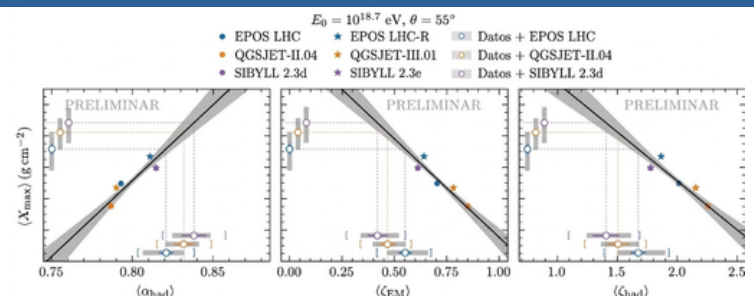


Fig. 2: Valor medio de $X_{\max}$ frente al valor medio de las magnitudes de producción de partículas múltiples en la interacción de rayos cósmicos con la atmósfera. Los símbolos rellenos representan las predicciones de los modelos. La línea negra extrapola la tendencia seguida por los modelos. Los símbolos vacíos cercanos al eje vertical indican los valores de $X_{\max}$ preferidos por los datos de Auger, mientras que los símbolos vacíos cercanos al eje horizontal corresponden a las variables de producción asociadas.

En conclusión, hemos encontrado una forma de modificar la primera colisión que ayuda a explicar tanto la discrepancia en el valor de $X_{\max}$ como la persistente escasez de muones en las simulaciones: el célebre «problema de los muones». Estos resultados se han enviado recientemente para su publicación. Demuestran cómo el experimento Auger puede utilizar las partículas más energéticas del Universo para estudiar interacciones fundamentales de partículas a energías que quedan fuera del alcance de los aceleradores construidos por el ser humano.