

Rayos cósmicos en la atmósfera

D. Sierra-Porta

28 de marzo de 2021

1. Planteamiento del problema

La figura 1(izquierda) muestra los flujos verticales de los principales componentes de los rayos cósmicos en la atmósfera en la región energética donde las partículas son más numerosas (excepto los electrones delanteros, que son más numerosos cerca de su energía crítica, que es de aproximadamente 81 MeV en aire). A excepción de los protones y electrones cerca de la parte superior de la atmósfera, todas las partículas se producen en interacciones de los rayos cósmicos primarios en el aire. Los muones y neutrinos son productos de la desintegración de mesones cargados, mientras que los electrones y fotones se originan en desintegraciones de mesones neutros. La mayoría de las mediciones se realizan a nivel del suelo o cerca de la parte superior de la atmósfera, pero también hay mediciones de muones y electrones de aviones y globos¹.

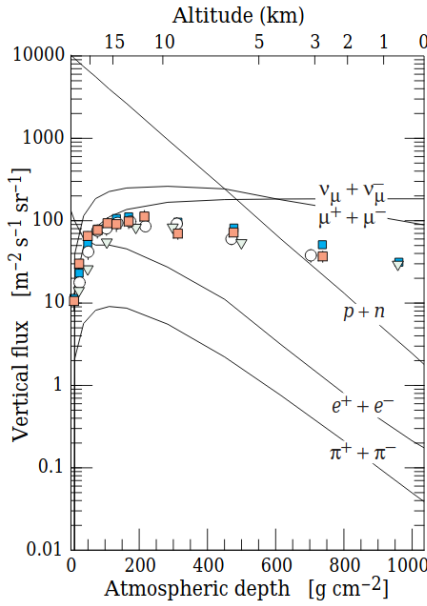


Figure 24.3: Vertical fluxes of cosmic rays in the atmosphere with $E > 1$ GeV estimated from the nucleon flux of Eq. (24.2). The points show measurements of negative muons with $E_\mu > 1$ GeV [31,30-33].

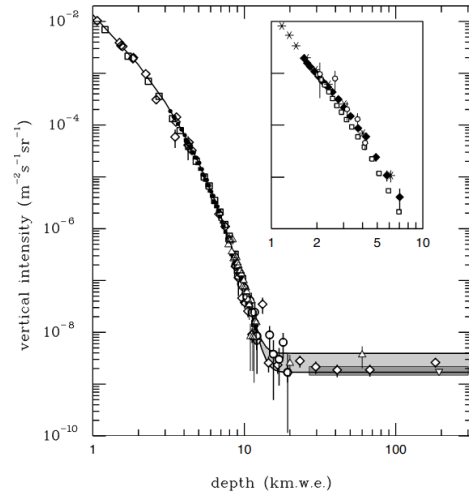


Figure 24.6: Vertical muon intensity vs depth (1 km.w.e. = 10^5 g cm⁻² of standard rock). The experimental data are from: \diamond : the compilations of Crouch [55], \square : Baksan [60], \circ : LVD [61], \bullet : MACRO [62], \blacksquare : Frejus [63], and \triangle : SNO [64]. The shaded area at large depths represents neutrino-induced muons of energy above 2 GeV. The upper line is for horizontal neutrino-induced muons, the lower one for vertically upward muons. Darker shading shows the muon flux measured by the SuperKamiokande experiment.

Figura 1: Tomada de <https://pdg.lbl.gov/2009/reviews/rpp2009-rev-cosmic-rays.pdf>.

1. A partir de la expresión de la pérdida de energía del muón, obtenga la intensidad del muón vertical en función de la profundidad X que se muestra en la figura 1(derecha) para un espectro de ley de potencia de muones de la forma $d\Phi_\mu/dE_\mu = KE^{-\alpha}$. La relación que debes obtener es

$$\Phi_\mu^{vertical} = \frac{K\epsilon^{-\alpha+1}}{\alpha-1} e^{-(\alpha-1)bX} (1 - e^{-bX})^{-\alpha+1} \quad (1)$$

2. Comente el comportamiento de esta función mirando el gráfico: ¿a qué valor se acerca para grandes profundidades?

1. <https://pdg.lbl.gov/2009/reviews/rpp2009-rev-cosmic-rays.pdf>

3. Pautas: Integra el espectro entre la energía mínima inicial que debe tener un muón para propagarse a través de un espesor de material X y la energía final que es claramente 0. Esta es la relación de intensidad de profundidad para muones desde la dirección vertical. Aviso: la banda rayada gris a grandes profundidades se debe a los muones inducidos por neutrinos con energías superiores a 2 GeV (línea superior: flujo horizontal, línea inferior: flujo vertical en [1](#)-derecha).

2. Longitud de onda de Compton para el electrón

Derive la fórmula de desplazamiento de longitud de onda de Compton $\Delta\lambda = \lambda - \lambda' = \lambda_e(1 - \cos\theta_\nu)$ donde $\lambda_e = h/(mc)$ es la longitud de onda de Compton del electrón. Considere un fotón entrante de momento $p_\gamma = h\nu/c$ y energía $E = h\nu$ y el fotón disperso con momento $p'_\gamma = h\nu'/c$ y energía $E' = h\nu'$. El electrón está inicialmente en reposo y después de la colisión retrocede en un ángulo θ_e con el momento p , como se muestra en la figura 2. Sugerencia: use principio de conservación de la energía y principio de conservación de los momentos ($p_\gamma = p_e + p'_\gamma$).

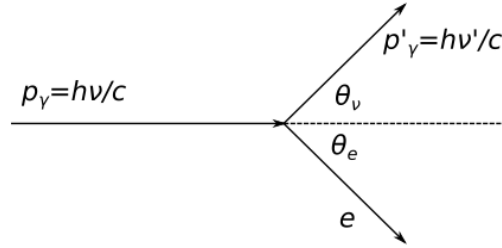


Figura 2: Diagrama para el problema 2.