10 Septiembre 2016

Física de Rayos Cósmicos
Rayos Cósmicos
1er semestre 2016

1. Un modelo más realista para el modelo de Heitler implica suponer que luego de cada capa atmosférica, cuyo espesor es $X_{EM} = 37{,}1\,\mathrm{g\,cm^{-2}}$, cada partícula produce g_{EM} nuevas partículas. De esta forma, el modelo original de Heitler supone $g_{EM} = 2$. Obtenga según este modelo realista los nuevos parámetros de la cascada, $N_{\text{máx}}$, $X_{\text{máx}}$ y Λ (*elongation rate*), como función de g_{EM}. Luego, evalúe esos parámetros para los casos $g_{EM} = 2, 6, 13, 20$.

2. La atmósfera marciana es una mezcla de gases con la siguiente composición: $96\,\%$ de CO_2, $2\,\%$ de Ar, $1{,}8\,\%$ de N_2 y $0{,}2\,\%$ de O_2. Es tan tenue que la presión atmosférica en su superficie es de sólo $0{,}6\,\mathrm{hPa}$ (como referencia, la presión atmosférica en la superficie terrestre es $1013{,}2\,\mathrm{hPa}$). Repita los cálculos del punto anterior para el caso de Marte y compare los resultados obtenidos con los de la Tierra. Ayuda: algunos datos adicionales que podrían llegar a usar: masa de Marte: $6{,}42 \times 10^{23}\,\mathrm{kg}$; radio de Marte: $3400\,\mathrm{km}$. El número másico de una mezcla calcula simplemente como un promedio pesado por la fracción de cada constituyente, $\langle A \rangle = \sum_i A_i x_i$. Para el número atómico de la mezcla debe calcularse el número atómico efectivo, $Z_{\mathrm{eff}} = \sqrt[2{,}94]{\sum_i f_i Z_i^{2{,}94}}$, donde Z_i es el número atómico del elemento i-ésimo y f_i es la fracción de carga de cada elemento (es decir, $f_i = Z_i / \sum_i Z_i$). Por ejemplo, para el caso del agua, H_2O, $Z_{\mathrm{eff}} = 7{,}42$.

3. El modelo de Glasmaher-Matthews para cascadas hadrónicas es un modelo simple que permite comprender la evolución de una cascada iniciada por un hadrón. Hemos visto en clase el caso de una lluvia atmosférica extendida (EAS) iniciada por un protón de energía E_p, donde obtuvimos que la mayor parte de la energía se encuentra en el canal electromagnético ($E_{\mathrm{EM}} = 1 - (E_p/E_\pi)^{\beta_\pi - 1} \simeq 0{,}9$ para $\beta_\pi = 0{,}85$). Luego, es válido suponer que a primer orden $X_{\text{máx}} \simeq X_{\text{máx}}^{\mathrm{EM}}$, donde este último término corresponde a la posición del máximo de una cascada equivalente pero iniciada por un fotón de energía $E_\gamma = E_p/(3N_{\mathrm{CH}})$ (esto surge de suponer que en la primer interacción se producen N_{CH} y $N_{\mathrm{CH}}/2$, que decaen inmediatamente según la reacción $\pi^0 \to 2\gamma$, y luego $N_\gamma = N_{\mathrm{CH}}$). Bajo esta aproximación, demuestre que la posición del máximo para una cascada iniciada por un protón puede aproximarse cómo $X_{\text{máx}}^p = X_0 + X_{\text{máx}}^{\mathrm{EM}} - 126\,\mathrm{g\,cm^{-2}}$ para $N_{\mathrm{CH}} = 10$ y X_0 corresponde al punto de primera interacción.

4. El modelo de superposición para una EAS iniciada por un hadrón de masa A y energía E_p sostiene que la cascada resultante es equivalente a A cascadas simultáneas iniciadas por sendos protones de energía E_p/A. Este modelo se soporta en el hecho de que a las energías más altas, $E_p \gg m_p$, la energía de ligadura por nucleón (típicamente $B/A \simeq 8{,}8\,\mathrm{MeV}$) es despreciable frente a E_p/A. Utilice entonces el modelo de Glasmaher-Matthews combinado con el modelo de superposición para verificar que:

   a) El número de muones de una lluvia iniciada por un núcleo de hierro ($^{56}Fe_{26}$) es $\simeq 50\,\%$ mayor que el número de muones de una lluvia iniciada por un protón (estrictamente, $N_\mu^A \simeq A^{1-\beta_\pi} N_\mu^p$).

   b) La posición del máximo puede aproximarse como $X_{\text{máx}}^A = X_{\text{máx}}^p - X_{\mathrm{EM}} \ln A$.

   c) Las fluctuaciones en la posición del máximo de distintas lluvias con la misma energía del primario son menores para los hierros que para los protones.