

Física de Rayos Cósmicos

Rayos Cósmicos

1er semestre 2016

1. Suponiendo que el espectro de rayos cósmicos (RC) sigue una ley de potencias de la forma $j(E) = j_0 E^\alpha$, calcule el número total de rayos cósmicos que arriban a la Tierra por año y por km^2 en los siguientes rangos de energía:

- a) $10^7 \leq E/\text{GeV} \leq 10^8$ con $\alpha = -3,3$.
- b) $10^7 \leq E/\text{GeV} \leq 10^8$ con $\alpha = -3,0$.
- c) $10^3 \leq E/\text{GeV} \leq 10^4$ con $\alpha = -2,7$.

en todos los casos obtenga el valor de j_0 de los espectros publicados (ver p. ej. espectro en U01C01).

2. Verifique que la fuerza de Lorentz relativista puede escribirse en forma covariante como

$$\frac{dp^\mu}{d\tau} = q F^{\mu\nu} u_\nu$$

donde p^μ es el 4-momento, $p^\mu = (\gamma mc, p_x, p_y, p_z)$, τ es el tiempo propio de la partícula, $F^{\mu\nu}$ es la forma contravariante del tensor de Maxwell y u_ν es la forma covariante de la 4-velocidad, $u_\nu = \gamma(c, -v_x, -v_y, -v_z)$. Notar que se usó la métrica usual en partículas, $\eta = \text{diag}(1, -1, -1, -1)$.

3. Demuestre que el radio de Larmor de una partícula de masa m y carga q que se mueve en presencia de un campo magnético \vec{B} con velocidad \vec{v} formando un ángulo θ con el campo magnético puede escribirse como

$$r = \frac{\gamma m v \sin \theta}{|q| B}.$$

Luego, haciendo los cambios de unidades que considere necesarios, pruebe que la expresión anterior puede reescribirse como

$$r = 3,3 \left(\frac{\gamma m c^2}{\text{GeV}} \right) \left(\frac{v_\perp}{c} \right) \left(\frac{e}{|q|} \right) \text{ metros.}$$

4. Usando las variables de Mandelstam, y en particular $s = E_{\text{CM}}^2$, verifique que la energía de la colisión en el LHC (13 TeV) es igual a $\sim 10^5$ TeV en el sistema de laboratorio (una de las partículas está en reposo, aire).
5. Suponiendo que la capacidad de una fuente le permite acelerar protones hasta una energía de corte $E_c = 4 \times 10^{15}$ eV. Calcule el espectro combinado (H, He, C, Fe) de la fuente suponiendo que el flujo de 1-Hidrógeno es $\mathcal{F}_\text{H} = (1,15 \times 10^{-5}) E^{-2,77} \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ TeV}^{-1}$, el flujo de 4-Helio es $\mathcal{F}_\text{He} = (7,19 \times 10^{-6}) E^{-2,64} \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ TeV}^{-1}$, el flujo de 12-Carbono es $\mathcal{F}_\text{C} = (1,06 \times 10^{-6}) E^{-2,66} \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ TeV}^{-1}$, y el flujo de 56-Hierro es $\mathcal{F}_\text{Fe} = (1,78 \times 10^{-6}) E^{-2,6} \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ TeV}^{-1}$.
6. Siguiendo los lineamientos de Protheroe&Clay, 2004, verifique que en el mecanismo de Fermi de 2do orden predice un incremento medio de energía $\langle \Delta E \rangle \simeq 4/3 \beta^2 E$ y un espectro del tipo ley de potencias $J(E) \propto E^\alpha$ con $\alpha < -1$. Luego describa los principales inconvenientes de este modelo. Repita lo anterior para el caso del mecanismo de Fermi de primer orden ($\langle \Delta E \rangle \simeq 4/3 \beta E$ y $\alpha \simeq -2$).
7. Usando el invariante de Mandelstam s , verifique los umbrales de energía de los siguientes procesos:

Fotoproducción de piones $p^+ + \gamma_{\text{CMB}} \rightarrow p^+ + \pi^0$, $E_{p^+} \gtrsim 30 \text{ EeV}$

Fotonucleoproducción de piones $A + \gamma_{\text{CMB}} \rightarrow A + \pi^0$, $E_A \gtrsim 30 (1 + m_\pi / (Am_p)) \text{ EeV}$.

Fotoproducción de pares $p^+ + \gamma_{\text{CMB}} \rightarrow p^+ + e^+ + e^-$, $E_{p^+} \gtrsim 3 \text{ EeV}$

Fotonucleoproducción de piones $A + \gamma_{\text{CMB}} \rightarrow A + e^+ + e^-$, $E_A \gtrsim 3 (1 + m_e / (Am_p)) \text{ EeV}$.