

### FÍSICA DE PARTÍCULAS - 3

17 Los muones provenientes de rayos cósmicos se producen en las capas altas de la atmósfera (aprox. 8000 m) a velocidades cercanas a la de la luz (por ejemplo 0.998 c) y llegan al nivel del mar.

a) De acuerdo con la mecánica clásica, ¿a qué distancia máxima pueden viajar los muones desde la atmósfera?

b) Repita el cálculo usando la relatividad especial para la velocidad indicada. Calcule también la energía mínima que deben tener los muones para llegar al nivel del mar.

c) Se producen piones en la atmósfera con el proceso  $p + p \rightarrow p + p + \text{piones}$ , y estos últimos decaen en muones y neutrinos de muon:  $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$  y  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ .

Indique si los piones pueden alcanzar al nivel del mar para la velocidad indicada, y cual sería la energía mínima para que esto sea posible.

d) Calcule en promedio cuánto recorre en el LAB un muon, producto del decaimiento de un pion en reposo, antes de desintegrarse.

18 a) Un pion con velocidad  $v$  decae en  $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$ . Si el antineutrino emerge a 90 grados de la dirección original del pion, calcule el ángulo de salida del muon.

b) Una partícula A decae en B y C. Calcule, en el referencial de A, la energía de las partículas B y C.

c) Encuentre las magnitudes de los momentos (use para expresar el resultado la función "triángulo"  $\lambda(x, y, z) = x^2 + y^2 + z^2 - 2xy - 2xz - 2yz$ ).

d) Demuestre que los momentos van a cero cuando  $m_A = m_B + m_C$  y que serían imaginarios si  $m_A < m_B + m_C$ .

e) Calcule la energía de los productos de decaimiento en los casos:

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu; \quad \pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma; \quad K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0; \quad \Lambda \rightarrow p + \pi^-; \quad \Omega^- \rightarrow \Lambda + K^-$$

19. Una partícula A de energía  $E$  colisiona con otra B en reposo produciendo  $C_1, C_2, \dots, C_n$ . Calcule el umbral para esta reacción en función de las masas de las partículas.

b) Idem para:  $p + p \rightarrow p + p + \pi^0$ ;  $p + p \rightarrow p + p + \pi^+ + \pi^-$ ;

$$\pi^- + p \rightarrow p + \bar{p} + n; \quad \pi^- + \bar{p} \rightarrow K^0 + \Sigma^0; \quad p + p \rightarrow p + \Sigma^+ + K^0$$

20. Muestre que para un conjunto de partículas de masas  $m_1, m_2, \dots$  y velocidades  $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots$ , etc., en las que al menos una de ellas tiene masa no nula, se puede elegir un sistema de referencia en la que el sistema de partículas tiene impulso total cero (sistema de centro de masa). Verifique que ese sistema se mueve respecto al sistema original con velocidad menor que  $c$ .

21. Expresar en kg la diferencia de masa entre una papa caliente y una fría.

22. a) Muestre, usando las transformaciones de Lorentz, que  $I = x''x_\mu$  es invariante.

b) Encuentre directamente la inversa de una transformación de Lorentz.

c) Considere tensores de segundo rango  $s^{\mu\nu}$  y  $a^{\mu\nu}$  simétrico y antisimétrico, respectivamente. Indique el número de componentes independientes. Muestre que la contracción entre ellos es cero, que su carácter de simétrico y antisimétrico es invariante Lorentz, que no cambiar su simetría al bajar los dos índices.

d) Muestre que cualquier tensor de segundo rango puede ser escrito como suma de uno simétrico y otro antisimétrico.

23. La partícula  $\Omega^-$ , predicha por Gell-Mann, fue creada por primera vez colisionando protones con Hidrógeno de acuerdo a la siguiente reacción  $p + p \rightarrow p + p + K^+ + K^-$ ; el  $K^-$  producido colisiona luego otro protón de acuerdo a:  $K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$ , produciendo finalmente la partícula  $\Omega^-$ . Indique la energía cinética mínima del protón inicial para tener éxito.

24. Una partícula A en reposo decae en tres o más partículas  $A \rightarrow B + C + D + \dots$ . Determine la energía máxima y mínima de B en función de las masas. Calcule entonces estas energías para el electron producido en el decaimiento el muon.

25. Para reacciones de dos cuerpos  $A + B \rightarrow C + D$  se definen las variables de Mandelstam:  $s = (p_A + p_B)^2$ ,  $t = (p_A - p_C)^2$ ,  $u = (p_A - p_D)^2$ .

a) Calcule  $s + t + u$ .

b) Calcule la energía en el CM de A en función de s, t, u. Idem en el LAB (B en reposo).

c) Calcule la energía total en el CM.

d) Si  $A + A \rightarrow A + A$ , calcule s, t, u en función del impulso de A en el CM y de  $\theta$ , ángulo de difusión.