

2023- FÍSICA DE PARTÍCULAS - Práctico 3

1. Los muones provenientes de rayos cósmicos se producen en las capas altas de la atmósfera (8000 m de altura aprox.) 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 de acuerdo a

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu \quad \text{y} \quad \pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

Indique si los piones pueden alcanzar al nivel del mar para la velocidad indicada, y cuál 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.

2. a) Dados dos cuadvectores $a^\mu = (3,4,1,2)$ y $b^\mu = (5,0,3,4)$ encontrar a_μ , b_μ , a^2 , b^2 y el producto a.b. Caracterice a los cuadvectores a y b como tipo tiempo, tipo espacio o tipo luz.

b) Para una partícula de masa m, ¿su cuadrivector p^μ es tipo tiempo, tipo espacio o tipo luz? ¿Cómo es para una partícula sin masa? ¿Cómo es para una partícula virtual?

3. a) ¿Cómo transforman los volúmenes al hacer un boost de velocidad βc entre un referencial y otro? Si un recipiente tiene volumen V' en su referencial de reposo, ¿qué volumen tiene en uno que se mueve con velocidad βc respecto a él?

b) ¿Cómo transforman las densidades? Si un recipiente tiene una densidad ρ' de moléculas por unidad de volumen en su referencial de reposo, ¿qué densidad de moléculas hay en uno que se mueve con velocidad βc respecto a él?

4. a) Un pion con velocidad v decae en un muon y un antineutrino $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$

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 reposo de A, la energía de las partículas B y C en función de las masas.

c) Encuentre las magnitudes de los momentos. Use para expresar el resultado la función "triángulo" $\lambda(x, y, z) = x^2 + y^2 + z^2 - 2xy - 2xz - 2zy$. Note que la función se factoriza como $\lambda(x^2, y^2, z^2) = (x+y+z)(x+y-z)(x-y+z)(x-y-z)$.

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:

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

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

b) Muestre que la energía cinética umbral en el LAB para una colisión con un blanco de masa m, en el que la masa total en el estado inicial es M_i y la del final es M_f es $T_u = (M_f - M_i)(M_f + M_i)/2m$.

b) Calcule la energía cinética umbral para los procesos:

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

6. a) Una partícula de masa m decae en vuelo en dos fotones de energías E_1 y E_2 . Calcule el ángulo entre los dos fotones en función de m y las energías. Este es el caso del $\pi^0(140)$ y de la $\eta(547)$: midiendo el ángulo y las energías de los fotones se puede identificar a la partícula que decayó.
- b) En el decaimiento en reposo de un Kaón $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^+$ calcule la máxima energía cinética que puede tener un pión.
- c) Calcule la mínima energía con la que se pueden producir bariones $\Lambda(1116)$ por interacciones fuertes de piones negativos incidiendo sobre protones en reposo.
- d) Un mesón con encanto D^0 decae en este canal $D^0 \rightarrow K^- + \pi^+$ a 3 mm del vértice de producción. La energía total de los productos de decaimiento es 30 GeV. Calcule la vida del mesón D^0 y el momento del pión en el referencial del D^0 .