

## Física de Partículas Elementales (G71)

4 Curso - Grado de Física

---

**Cuestión 1.** Un pion cargado colisiona con un protón en reposo dando lugar a un pion cargado, un protón y un pion neutro ( $\pi^+ + p^+ \rightarrow \pi^+ + p^+ + \pi^0$ ). ¿Cuál es la energía mínima del pion incidente para que esta reacción sea posible?  $M(\pi^+) = 0.140$  GeV,  $M(\pi^0) = 0.135$  GeV,  $M(p^+) = 0.938$  GeV. **(1 Punto)**. Demuestra que la reacción  $e^- \rightarrow e^- + \gamma$  no es posible en el vacío. **(1 Punto)**.

**Cuestión 2.** Prueba las siguientes relaciones de las matrices  $\gamma$  **(1 Punto)**:

1.  $\gamma_\mu \gamma^\mu = 4I$
2.  $\gamma_\mu \gamma_\nu a^\nu \gamma^\mu = -2\gamma_\nu a^\nu$
3.  $\gamma_\mu \gamma_\nu a^\nu \gamma_\lambda b^\lambda \gamma^\mu = 4a_\mu b^\mu I$ .

Demuestra que cada una de las componentes de los espinores de Dirac cumple la ecuación de Klein-Gordon  $(\partial_\mu \partial^\mu + m^2)\psi_i = 0$ . Para ello multiplica a la ecuación de Dirac por  $(i\gamma^\nu \partial_\nu + m)$  y opera sabiendo que  $\gamma^\nu \gamma^\mu a_\mu a_\nu = \frac{1}{2}(\gamma^\nu \gamma^\mu + \gamma^\mu \gamma^\nu) a_\mu a_\nu$ . **(1 Punto)**.

**Cuestión 3.** Considera el proceso de aniquilación  $q^- q^+ \rightarrow q^- q^+$ . Dibuja los tres posibles diagramas de Feynmann de 2 vértices que contribuyen a este proceso. **(0.5 Puntos)**. Indica la estructura que tendría el elemento de matriz asociado a cada uno de ellos, explicando las diferencias. **(1 Punto)**. Ordena los tres diagramas de mayor a menor sección eficaz en un experimento con una energía del centro de masas de  $\sqrt{10}$  GeV. Razona tu respuesta. **(0.5 Puntos)**.

**Cuestión 4.** Definir el concepto de helicidad y de quiralidad. ¿Cuándo son coincidentes? **(0.5 Puntos)**. Define el concepto del operador conjugación de carga C y del operador de paridad P. ¿Cómo afecta el operador C a los spinors de partícula y antipartícula canónicos? **(0.5 Puntos)**. Define los siguientes conceptos o magnitudes: tasa de transición, sección eficaz, sección eficaz diferencial, densidad de estados, elemento de matriz. ¿Cuales de las magnitudes anteriores son invariantes Lorentz y cuáles no?. **(0.5 Puntos)**. Define qué entendemos por confinamiento del color y cómo se relaciona con el llamado proceso de hadronización. **(0.5 Puntos)**.

**Cuestión 5.** La desintegración del pion cargado resulta a priori sorprendente ya que se produce mayoritariamente en la forma  $(\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu})$  y no de la forma  $(\pi^- \rightarrow e^- \bar{\nu})$ . Explica por qué esto resulta sorprendente al menos desde un punto de vista meramente energético. **(0.5 Puntos)**. Asumiendo que un pion cargado negativamente está en reposo y sabiendo que su spin es nulo: dibuja esquemáticamente cómo tendría lugar su desintegración a un leptón cargado y a un antineutrino señalando las direcciones y espines de las partículas involucradas. Considera todas las posibilidades a priori posibles. **(0.5 Puntos)**. Asumiendo que la masa del neutrino es exactamente cero, razona cuál de las opciones tendrá lugar en la naturaleza y demuestra matemáticamente que el cociente entre la tasa de desintegración a muones y a electrones debe ser proporcional a aproximadamente  $m_\mu^2 / m_e^2$ . Utiliza para ello los espinores dados a continuación. **(1 Punto)**.

$$\begin{array}{c|c}
 u_{\uparrow} = N \begin{pmatrix} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ e^{i\phi} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ \frac{|\vec{p}|}{E+m} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ \frac{|\vec{p}|}{E+m} e^{i\phi} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \end{pmatrix} & u_{\downarrow} = N \begin{pmatrix} -\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ e^{i\phi} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ \frac{|\vec{p}|}{E+m} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ -\frac{|\vec{p}|}{E+m} e^{i\phi} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \end{pmatrix} \\
 \hline
 v_{\uparrow} = N \begin{pmatrix} \frac{|\vec{p}|}{E+m} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ -\frac{|\vec{p}|}{E+m} e^{i\phi} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ -\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ e^{i\phi} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \end{pmatrix} & v_{\downarrow} = N \begin{pmatrix} \frac{|\vec{p}|}{E+m} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ \frac{|\vec{p}|}{E+m} e^{i\phi} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ e^{i\phi} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \end{pmatrix}
 \end{array}$$

Figura 0.1: Espinores solución a la ecuación de Dirac y autoestados del operador helicidad.