Física de Partículas Elementales (G71)

4 Curso - Grado de Física - Doble Grado Física Matemáticas - Segundo parcial

Cuestión 1. Un electrón y un positrón colisionan con momentos $p_1 = (E_e, 0, 0, p_e)$ y $p_2 = (E_e, 0, 0, -p_e)$ dando lugar a una interacción electromagnética que dará como resultado un muon y un antimuon. El muon tiene un cuadrimomento dado por $p_3 = (E_\mu, p_\mu \sin\theta, 0, p_\mu \cos\theta)$, ¿Qué relación existe entre E_e y E_μ? **(0.25 puntos)**. Escribe la expresión del cuadrimomento del antimuon. **(0.25 puntos)**. Supongamos que estamos en el límite en el que la masa de los electrones y los muones es despreciable. ¿Qué combinaciones de helicidades de las cuatro partículas darían una contribución distinta de cero al elemento de matriz y cuáles no?. (No es necesario demostrarlo matemáticamente).**(0.5 puntos)**. Usando los spinores de la página siguiente, y asumiendo que la masa es despreciable, calcula la cuadricorriente asociada al caso en el que el muón y el antimuon tengan ambos helicidad negativa. **(1 punto)**.

Cuestión 2. Describe el concepto de quiralidad. **(0.5 Puntos)**. ¿Es la quiralidad una propiedad invariante bajo transformaciones de Lorentz?. **(0.5 Puntos)**. ¿Calcula $[\gamma^5, \gamma^\nu]$. **(0.5 puntos)**. ¿Qué fracción de un espinor electrónico con helicidad positiva tiene quiralidad positiva?. **(0.5 puntos)**.

Cuestión 3. ¿Cuál es la forma de los operadores de proyección quiral P_R y P_L?. Demuestra que $P_R P_L = 0$, $P_R^2 = P_R$, $P_L^2 = P_L$ y $P_R + P_L = 1$. **(0.5 puntos)**.Supongamos que dos operadores A y B puede expresarse como series $A = \sum_{i=0}^{\infty} a_i P_L^i$ y $B = \sum_{i=0}^{\infty} b_i P_R^i$. Demuestra que si $AP_R = 0$ entonces $a_0 = 0$.**(0.5 puntos)**. ¿Qué condiciones tienen que cumplir los a_i para que $A^2 = P_R$?.**(0.5 puntos)**.

Cuestión 4. Supongamos un diagrama de Feynman de tipo interacción débil en el que un electrón y un antineutrino se aniquilan dando lugar a un muon y un antineutrino. Dibuja el diagra de Feynmann, indicando si son partículas o antipartículas e incluyendo la información de las cargas. **(0.5 puntos)**. Escribe la forma del elemento de matriz asociado explicando las diferencias con el elemento de matriz de un supuesto proceso similar pero electromagnético (asumiendo que fuera posible). **(0.5 puntos)**. Escribe el elemento de matriz en términos de cuadri-corrientes de tipo vector y de tipo axial. Demuestra que este elemento de matriz viola la paridad. **(0.5 puntos)**. La violación de paridad es máxima en los procesos mediados por bosones $W^\pm$. ¿Lo es también para el bosón Z?. Razona tu respuesta (no hacen falta fórmulas detalladas). **(0.5 puntos)**.

Cuestión 5. ¿Qué entendemos por confinamiento en la fuerza fuerte?. **(0.5 puntos)**. ¿Se ha observado en la Naturaleza alguna vez un gluon en estado libre? ¿Qué implica esto desde el punto de vista de su color?. **(0.5 puntos)**. Supongamos un proceso de aniquilación electrón-positrón que tiene lugar con una energía centro de masas de $\sqrt{s} = 1$ GeV y que da lugar a un par de fermión y antifermión. ¿Qué posibles fermiones podrían producirse en este proceso y en estas condiciones?**(0.5 puntos)**. En estas condiciones, ¿cuál debería ser, de forma aproximada, el cociente entre la cross section del proceso $e^- e^+ \to \mu^- \mu^+$ y $e^- e^+ \to q^- q^+$?. Razona la respuesta. **(0.5 puntos)**. $m(e) = 0.5$ MeV, $m(\mu) = 105$ MeV, $m(\tau) = 1780$ MeV, $m(\nu_{e,\mu\tau}) < 2$ eV, $m(u) = 1.9$ MeV, $m(d) = 4.4$ MeV, $m(s) = 87$ MeV, $m(c) = 1320$ MeV, $m(b) = 4240$ MeV, $m(t) = 172$ GeV.

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

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

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

$$\gamma^0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}, \qquad \gamma^1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\gamma^2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & i & 0 \\ 0 & i & 0 & 0 \\ -i & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \qquad \gamma^3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Figura 0.2: Matrices de Dirac.