Física de Partículas Elementales (G71)

4 Curso - Grado de Física - Doble Grado Física Matemáticas - Final bloque 1

Cuestión 1. El acelerador Tevatrón, situado en Fermilab, en el extraradio de la ciudad de Chicago, colisionaba protones con antiprotones en el sistema centro de masas y con una energía del centro de masas de $\sqrt{s} = 2$ TeV. Con frecuencia la colisión se traducía en una interacción entre un quark u del protón y un antiquark $\bar{u}$ del antiprotón dando lugar a un muon y un antimuon en el estado final $u\bar{u} \to \mu^-\mu^+$. El quark u y el antiquark $\bar{u}$ tienen un momento $x_u\vec{P}_p$ y $x_{\bar{u}}\vec{P}_{\bar{p}}$ respectivamente, en donde $\vec{P}_p$ y $\vec{P}_{\bar{p}}$ son los momentos del protón y el antiprotón, y x_u y $x_{\bar{u}}$ son dos números reales comprendidos entre 0 y 1. ¿Cuanto vale el módulo de $\vec{P}_p$ y $\vec{P}_{\bar{p}}$?. **(0.5 puntos)**. Suponiendo que la dirección y sentido del eje Z coincide con la dirección y sentido del movimiento de los protones, demuestra que si los dos muones resultantes se mueven hacia valores de z positivos entonces $x_u > x_{\bar{u}}$. **(0.5 puntos)**. Calcula el producto $x_u x_{\bar{u}}$ si el muon y el antimuon son detectados ambos con la mitad de la energía del protón inicial y formando un ángulo entre sí tal que $\cos\theta = 1/2$. Asume que en todo momento las masas de los quarks y los muones son despreciables. **(1 punto)**.

Cuestión 2. Supongamos que un operador A puede escribirse como $A = a_\mu\gamma^\mu$ en donde a_μ es un cuadrivector de números reales. Demuestra que el anticonmutador $\{A,\gamma^\nu\} = 2a^\nu$. **(0.5 puntos)**. Demuestra también que $\{A^2,\gamma^\nu\} = 4Aa^\nu$. **(0.5 puntos)**. Finalmente considerando el operador $B = b_\mu\gamma^\mu + bI$ con b_μ un cuadrivector de números reales, b un número real e I la matriz identidad, demostrar que $\{A,B\}$ sólo puede ser nulo cuando $a_\mu b^\mu = 0$ y $b = 0$. **(1 punto)**.

Cuestión 3. Definir los siguientes conceptos: Cuadricorriente de probabilidad, espinor adjunto, sección eficaz diferencial, teoría gauge. **(2 puntos)**.

Cuestión 4. Considera los operadores $\Lambda_+ = \frac{m+\gamma_\mu p^\mu}{2m}$ y $\Lambda_- = \frac{m+\gamma_\mu p^\mu}{2m}$. Evalua cuál es el resultado de aplicar cada uno de ellos a cada uno de los espinores de partícula y antipartícula, incluyendo la normalización $N = \sqrt{E}$. **(0.75 puntos)**. ¿A la vista del resultado qué es lo que hacen estos operadores?. **(0.25 puntos)**. Demuestra que $\Lambda_+^2 = \Lambda_+$ y que $\Lambda_+\Lambda_- = 0$ sin usar los espinores.**(1 punto)**.

Cuestión 5. ¿Qué relación guarda el llamado flujo invariante Lorentz con la sección eficaz?. **(0.5 puntos)**. Calcula el valor del flujo invariante Lorentz $F = 4[(p_1^\mu p_{2\mu})^2 - m_1^2 m_2^2]^{1/2}$ para el caso en el que la partícula 1 tiene momento $\vec{p}_1$ y la partícula 2 está en reposo. **(1 punto)**. ¿Por qué con frecuencia se da la sección eficaz diferencial en términos de $\frac{d\sigma}{dt}$ donde t es el invariante de Mandelstam?. ¿Qué ventajas aporta esto en el contexto de la comparación de resultados en diferentes experimentos?. Razona tu respuesta. **(0.5 puntos)**.

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

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

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.