Teoria e Fenomenologia delle Interazioni Fondamentali

Emanuele Re

17/07/2024

Tempo a disposizione: 3 ore.

Scrivere in modo chiaro e leggibile. Si consiglia di fare i calcoli prima in brutta copia e di riportarli solo successivamente in bella copia. In bella copia devono comunque comparire sia i passaggi di calcolo non banali sia, dove opportuno, brevi commenti su proprietà o considerazioni che si stanno usando da uno step al successivo.

Problema 1

Si consideri il processo di scattering

$$\bar{u}(p_1) + d(p_2) \rightarrow \tau^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)$$

dove i tetra-momenti sono indicati tra parentesi. Si trascurino tutte le masse eccetto quella del τ , che ha massa m . Sia $(p_1 + p_2)^2 = s$ il quadrato dell'energia nel centro di massa delle particelle incidenti.

1. Disegnare i diagrammi di Feynman che contribuiscono a tale processo, all'ordine elettrodebole più basso, nel Modello Standard.
2. Calcolare l'ampiezza modulo quadro per tale processo, e la quantità $d\sigma/d\Omega$ (lasciando l'espressione scritta in funzione delle variabili di Mandelstam). Al solito $d\Omega = d\cos\theta d\phi$.
3. Calcolare la sezione d'urto differenziale nel centro di massa $d\sigma/d\cos\theta$, dove θ è l'angolo che il τ forma con la direzione delle particelle incidenti, nel caso in cui si trascuri la massa del τ ($m=0$).
4. Per un'energia nel centro di massa di 40 GeV, calcolare la frazione di eventi per cui il τ ha una momento trasverso (perpendicolare alle particelle incidenti) maggiore di 10 GeV, sempre nel caso $m = 0$.

Problema 2

Si assuma uno scattering elastico con scambio di uno scalare in canale s . Siano le 4 particelle coinvolte dei fermioni massless ($f_1 + \bar{f}_2 \rightarrow f_3 + \bar{f}_4$), e sia l'energia nel centro di massa pari a 40 GeV (come nel caso precedente).

1. si calcoli la frazione di eventi per cui la particella f_3 ha una momento trasverso (perpendicolare alle particelle incidenti) maggiore di 10 GeV, sempre nel caso $m = 0$.
2. se anziché uno scalare venisse scambiato uno pseudoscalare in canale s , che risultato si otterrebbe?

Problema 3

Dimostrare che

$$\frac{d^3k}{(2\pi)^3} \frac{1}{2k^0} = \frac{1}{(2\pi)^3} \frac{1}{2} |\vec{k}_t| d|\vec{k}_t| dy d\phi$$

con ϕ angolo azimutale attorno all'asse z , e $y = \frac{1}{2} \log \left(\frac{k^0+k^3}{k^0-k^3} \right)$.

Come step intermedio, calcolare attentamente dy/dk^3 .

Formule e valori numerici utili:

- vertice (u, d, W) :

$$-iV_{ud} \frac{g_w}{2\sqrt{2}} \gamma^\mu (1 - \gamma_5)$$

dove V_{ud} e' l'elemento ud della matrice CKM.

- γ matrices:

$$\begin{aligned} \text{Tr}(\gamma^\mu \gamma^\nu \gamma^\rho \gamma^\sigma \gamma_5) &= -4i \epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} \\ \epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} \epsilon_{\mu\nu}{}^{\alpha\beta} &= -2(g^{\rho\alpha} g^{\sigma\beta} - g^{\rho\beta} g^{\sigma\alpha}) \end{aligned}$$

- coupling $A f \bar{f}$ con A pseudoscalare: $g\gamma_5$ (dove g e' una costante)