

Problemi per il corso di
teoria delle interazioni fondamentali
giugno 2010

Primo Modulo

1. Processi $2 \rightarrow 2$ in QED

Si consideri l'elettrodinamica quantistica con un solo fermione massivo (elettrone).

- (a) Si elenchino tutti i possibili processi $2 \rightarrow 2$ e se ne scrivano i diagrammi di Feynman ad albero.
- (b) Si determini l'ampiezza per tutti i processi al punto precedente in termini di invarianti di Mandelstam
- (c) Si discutano tutti i possibili spazi delle fasi per i processi dati.

2. Rinormalizzazione della carica dell'elettrone.

Si consideri la funzione di vertice dell'elettrone ad un loop in elettrodinamica quantistica,

$$\Gamma^\mu(p', p) = \gamma^\mu F_1(q^2) + \frac{i\sigma^{\mu\nu}}{2m} F_2(q^2), \quad (1)$$

ed in particolare se ne consideri il limite $q^2 \rightarrow 0$.

- (a) Si elenchino tutti i diagrammi di Feynman che contribuiscono ad $F_1(0)$, e si dimostri che l'effetto di ciascuno dei diagrammi può essere riassorbito in una costante Z_i che moltiplica il suo valore ad albero, e che le costanti moltiplicative indipendenti sono tre.
- (b) Si dimostri che se l'identità di Ward (vista a lezione nel caso ad albero) è vera a tutti gli ordini, allora l'effetto di due delle costanti moltiplicative al punto precedente si compensa.
- (c) Si determini la costante restante, regolarizzando l'integrale di loop mediante un cutoff (si supponga che il termine che diverge quadraticamente si cancelli per l'identità di Ward).

- (d) Si rinormalizzi il risultato, esprimendolo in termini della carica fisica dell'elettrone.
- (e) Si sfrutti il risultato delle domande precedenti per determinare la funzione β della QED.

3. Produzione di W in urto quark–quark.

Si consideri il processo di urto elettrodebole $d + \bar{u} \rightarrow \mu + \nu_\mu$ (dove \bar{u} e d indicano rispettivamente antiquark quark up e quark down).

- (a) Si calcoli la sezione d'urto differenziale $\frac{d\sigma}{d\cos\theta}$ per il processo nel sistema di riferimento del centro di massa.
- (b) Si calcoli la frazione di eventi per cui l'impulso trasverso del muone (componente dell'impulso nel piano ortogonale all'asse della collisione) e' maggior in modulo di 10 GeV, supponendo che l'energia nel centro di massa della collisione sia $\sqrt{s} = 10$ TeV.

4. Decadimento β .

Si consideri il decadimento β di un neutrone.

- (a) Si scriva la più generale espressione per l'ampiezza del processo. Si giustifichi l'approssimazione per cui tutti i fattori di forma possono considerarsi costanti, e gli unici non trascurabili sono quello vettoriale e quello assiale.
- (b) Si determini lo spettro di energia dell'elettrone nell'approssimazione data.
- (c) Si determini la correlazione angolare tra la direzione dell'elettrone e quella del neutrino, ossia la probabilità di decadimento differenziale rispetto al prodotto scalare delle tri-velocità dell'elettrone e del neutrino, $\vec{v}_e \cdot \vec{v}_\nu$.

Secondo Modulo

5. Produzione di Higgs a LHC.

Scrivere l'espressione fattorizzata per la produzione di Higgs ad un collider adronico e discutere i principali canali di produzione a LHC.

(a) *Segnale: fusione gluone-gluone*

- i. Considerare la produzione attraverso la fusione di due gluoni che si accoppiano ad un loop di quark di massa m_q .
- ii. Mostrare come l'accoppiamento Higgs-gluone-gluone abbia un limite finito se $m_q \rightarrow \infty$. Determinare (a meno del coefficiente numerico) la lagrangiana efficace per questo accoppiamento.
- iii. Determinare la regola di Feynman dalla lagrangiana efficace e calcolare l'elemento di matrice al quadrato e la sezione d'urto ad albero per questo sottoprocesso.

(b) *Segnale: fusione di bosoni vettori*

- i. Discutere quali combinazioni di distribuzioni partoniche contribuiscano a questo processo per diverse combinazioni di bosoni vettori e scrivere le corrispondenti ampiezze.
- ii. Calcolare l'elemento di matrice al quadrato e la sezione d'urto partonica ad albero per questo sottoprocesso

(c) *Fondo: produzione di coppie di fotoni*

- i. Disegnare i diagrammi di Feynman che contribuiscono al processo di produzione di due fotoni in urti protone-protone al più basso ordine perturbativo.
- ii. Scrivere l'espressione fattorizzata per la distribuzione in p_t del fotone per questo processo.
- iii. Calcolare la sezione d'urto partonica ad albero.

(d) *Fenomenologia a LHC*

Utilizzando MadGraph, calcolare la sezione d'urto di produzione e la distribuzione in massa invariante di una coppia di fotoni a LHC.

- i. Studiare il processo nel Modello Standard.
- ii. Imporre quindi, utilizzando la teoria effettiva, che i fotoni siano prodotti dal decadimento di una particella di Higgs.

- iii. Richiedere la presenza nello stato finale di due jets addizionali, oltre ai due fotoni che costituiscono la segnatura del processo in esame. Scegliere gli accoppiamenti ed il modello in modo che l'Higgs sia prodotto in fusione gluone-gluone oppure in fusione di bosoni vettori, e discutere quali altri sottoprocessi compaiono nei vari casi all'ordine dato.
- iv. Confrontare le distribuzioni in massa invariante dei due fotoni, a LHC, con tagli standard ($p_{\perp}^{\gamma} > 20$ GeV) sull'impulso trasverso dei fotoni, ottenute nei vari sottoprocessi dei punti precedenti.