

Teoria delle Interazioni Fondamentali

Esercizi di valutazione

1. Meccanismo di Higgs

Si introduca nel modello standard (MS) un nuovo campo scalare reale

$$\vec{\Phi} = \{\phi_a\}, \quad \text{con } a = 1, 2, 3$$

che forma un tripletto di $SU(2)_L$. Assumendo che la componente neutra di questo tripletto assuma sul vuoto un valore di aspettazione (VEV) $v' \neq 0$ si calcolino le masse del bosone W e della Z , e si noti che la presenza del nuovo VEV altera la relazione $\rho = 1$ ottenuta nel MS. Sapendo che $\rho = 1$ è verificato sperimentalmente con una precisione dell'1% si stimi il valore massimo che v' può assumere.

2. Decadimento della Z

Si studi il decadimento del bosone Z svolgendo gli esercizi seguenti:

1. Si calcoli la larghezza differenziale per il decadimento ad una generica coppia fermione-antifermione

$$Z \rightarrow f\bar{f},$$

di una Z a riposo con spin $+1$, -1 o 0 lungo l'asse z . Si trascurino le masse dei fermioni. Si verifichi esplicitamente che il risultato viola la simmetria di parità P e la coniugazione di carica C . Si verifichi che il prodotto delle due, CP , invece è conservata.

2. Si calcoli ora la larghezza di decadimento non polarizzata, definita come la media di quelle polarizzate, utilizzando la relazione di completezza per i vettori di polarizzazione della Z . Si verifichi che si ottiene lo stesso risultato calcolando esplicitamente la media delle larghezze polarizzate ottenute al punto 1.
3. Si elenchino i possibili canali di decadimento della Z e se ne calcoli la larghezza totale, si verifichi il buon accordo con la larghezza sperimentalmente osservata $\Gamma_Z \simeq 2.5 \text{ GeV}$.

3. Decadimenti deboli

Si calcoli, utilizzando la teoria di Fermi, la rate di decadimento del leptone τ^- a pione neutrino:

$$\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau,$$

e si compari la predizione ottenuta con il valore sperimentale $\Gamma(\pi\nu) \simeq 2.5 \cdot 10^{-10} \text{ MeV}$.

4. Modello a partoni

Utilizzando il modello a partoni si calcoli la sezione d'urto differenziale $d\sigma/dq^2$ per il processo

$$pp \rightarrow \mu^+(k_+) \mu^-(k_-) X$$

dove "X" denota un generico stato finale adronico e $q^2 = (k_+ + k_-)^2$. Si consideri solo i contributi dei quark up, down e strano (e le corrispondenti antiparticelle) presenti nei protoni iniziali. Si esprima il risultato in termini delle appropriate luminosità partoniche.

Si specializzi il risultato generale ottenuto, introducendo le opportune semplificazioni, al caso in cui la massa invariante q sia molto minore della massa del bosone Z e al caso in cui q sia vicina ad m_Z . Nel secondo caso si sfrutti il fatto che la larghezza di decadimento della Z è molto inferiore alla sua massa.

Sempre utilizzando il modello a partoni e considerando solo i contributi dei quark up, down e strano, si calcoli la sezione d'urto differenziale $d\sigma/dp_\perp$ per il processo

$$pp \rightarrow \mu^+(p) \nu_\mu(k_\nu) X$$

dove con p_\perp si indica il modulo del momento del muone prodotto proiettato nel piano ortogonale ai fasci di protoni iniziali. Prendendo come asse di riferimento "z" la direzione dei fasci,

$$p_\perp = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}.$$

Una volta ottenuto il risultato completo, lo si semplifichi nel limite $\Gamma_W \ll m_W$ e si mostri che la distribuzione $d\sigma/dp_\perp$ ha un end-point, ovvero che si annulla per valori di p_\perp oltre una certa soglia. Si identifichi tale soglia e se ne discuta l'origine fisica.