

Divergenze infrarosse in QCD e fattorizzazione infrarossa di ampiezze con emissione di 3 gluoni soffici

In questo lavoro di tesi ci siamo occupati dello studio delle divergenze infrarosse in QCD. In particolare nei primi capitoli abbiamo introdotto il problema delle divergenze infrarosse e abbiamo riportato la dimostrazione del noto teorema di *Kinoshita-Lee-Nauenberg*, il quale garantisce che le sezioni d'urto sono prive di divergenze infrarosse a tutti gli ordini perturbativi qualora si considerino tutte le possibili emissioni di gluoni soffici. Di seguito abbiamo ricavato per una generica ampiezza di transizione all'ordine *tree-level* le regole di fattorizzazione infrarossa già note per 1 e 2 gluoni soffici e ottenuto il risultato originale per il caso a 3 gluoni soffici. Tale fattorizzazione consiste nel decomporre l'ampiezza di transizione nell'azione di un operatore sull'ampiezza "dura", ovvero senza emissione di gluoni soffici. Tale operatore è denominato corrente di emissione soffice, contiene i contributi divergenti infrarossi e risulta avere una struttura universale, ovvero indipendente dal particolare processo preso in considerazione. In tutti i casi analizzati i contributi alla corrente di emissione sono stati calcolati in gauge assiale e abbiamo dimostrato l'invarianza di gauge della corrente, ovvero l'indipendenza dal vettore assiale, riorganizzando i termini di gauge in termini proporzionali all'operatore carica di colore totale. In questo modo abbiamo ottenuto dei termini che danno contributo nullo quando agiscono su stati che sono singoletti di colore per via della conservazione del colore.

Il passo successivo è stato quello di verificare, con un metodo analogo al precedente, l'identità di Ward per il caso a 3 gluoni, ovvero $q_{1\mu_1} J_{a_1 a_2 a_3}^{\mu_1 \mu_2 \mu_3}(q_1, q_2, q_3) \mathcal{M} = 0$, dove \mathcal{M} indica l'ampiezza di transizione senza gluoni soffici. Le identità di Ward per i casi $q_{2\mu_2}$ e $q_{3\mu_3}$ sono state dedotte dalla precedente sfruttando l'invarianza in forma della corrente per un qualsiasi scambio degli indici di colore 1, 2 e 3.

Una volta fatto ciò abbiamo manipolato le espressioni delle correnti di emissione soffice in modo tale da far comparire le correnti precedenti e mettendo in evidenza le strutture di colore che le caratterizzano. Tali espressioni sono risultate utili per riprodurre i risultati già noti per le correnti a 1 e 2 gluoni soffici e per affrontare il calcolo originale del modulo quadro della corrente a 3 gluoni. Per quest'ultimo calcolo abbiamo ricavato nell'espressione finale le strutture di colore indipendenti e fra queste abbiamo ottenuto i contributi di emissione indipendente di 3 gluoni soffici e i termini con 2 gluoni correlati.

Nel capitolo successivo abbiamo studiato un semplice processo d'urto: lo scattering elastico di due quark di sapore diverso. Per questo processo abbiamo calcolato esplicitamente i contributi divergenti infrarossi fino all'ordine *1-loop* e abbiamo verificato direttamente che questi contributi venissero cancellati dall'emissione reale di gluoni allo stesso ordine perturbativo.

Infine nell'ultimo capitolo abbiamo analizzato i processi in cui sono coinvolti solo gluoni riportando un metodo di tipo induttivo con il quale è possibile ricavare delle relazioni ricorsive per il calcolo delle ampiezze di transizione e dei loro moduli quadri per un processo che coinvolga un numero generico n di gluoni reali. Per questi processi abbiamo poi riportato le regole di fattorizzazione per gli elementi di matrice S e abbiamo verificato, nel caso di emissione di 1, 2 e 3 gluoni, all'ordine leading N (dimensione del gruppo di simmetria) che le regole di fattorizzazione ottenute dal caso generale coincidessero con quelle del caso specifico di soli gluoni.