Riassunto della Tesi di Laurea:

Risommazione di gluoni soffici in processi di Drell-Yan in QCD

di Marco Cirelli

Relatore interno: prof. Giuseppe Marchesini
Relatore esterno: dott. Paolo Nason

Questo lavoro di Tesi si colloca nell'ambito della Fenomenologia teorica delle Particelle Elementari. Si applica la teoria della Cromodinamica Quantistica (QCD) per le interazioni forti con lo scopo di ottenere previsioni teoriche su grandezze misurabili negli esperimenti di collisione adrone-adrone ai grandi acceleratori (e.g. Tevatron-Fermilab, LHC-Cern).

1. Il processo di Drell-Yan in QCD perturbativa

Il processo di Drell-Yan consiste nella produzione di una coppia di grande massa invariante Q di leptone e antileptone (per esempio: $\mu^+\mu^-$) dalla collisione di due adroni (per esempio: $p\overline{p}$, protone-antiprotone). Ogni adrone viene rappresentato, secondo i principi del Modello a Partoni, come un sistema debolmente legato di quark, antiquark e gluoni e la produzione avviene principalmente attraverso l'annichilazione di un quark e di un antiquark, 'contenuti' nell'adrone, in un fotone virtuale, che decade nella coppia leptonica:

$$p + \overline{p} \to \gamma^* + X \qquad \gamma^* \to \mu^+\mu^-$$

La condizione di grande massa invariante ($Q \gg \Lambda_{QCD}$, dove Λ_{QCD} è la scala caratteristica delle interazioni forti) garantisce che l'energia dell'interazione forte sia elevata e quindi fa sì che questo processo sia un banco di prova ideale per l'applicazione della QCD perturbativa, come è stato fatto con successo dagli anni '70 ad oggi.

Il processo di Drell-Yan è comunque solo il paradigma di una serie di simili reazioni di collisioni adroniche: le più rilevanti sono la produzione di

$W^{\pm}$ e Z^0 (in luogo del fotone virtuale) e la produzione di una coppia di quark pesanti ($b\bar{b}$, *top-antitop*, in luogo della coppia $\mu^+\mu^-$).

2. Limiti cinematici interessanti: la regione di piccolo momento trasverso della coppia e la sezione d'urto totale alla soglia

Tra le grandezze che è interessante analizzare in questo tipo di processi, due in particolare sono state oggetto di intensi studi negli ultimi anni:

- la distribuzione del momento trasverso $q_\perp$ (rispetto all'asse di collisione dei fasci) della coppia leptonica prodotta, nella regione di piccolo momento trasverso ($q_\perp \ll Q^2$);
- la sezione d'urto totale alla soglia, ossia nel limite in cui la massa invariante della coppia leptonica assorbe quasi tutta l'energia della collisione adronica.

In questi particolari regimi cinematici nascono grosse correzioni, in forma di logaritmi ℓ (ad esempio: $\ell = \ln(q_\perp^2/Q^2)$), ad ogni ordine della serie perturbativa: esse sono essenzialmente la conseguenza dell'emissione di gluoni soffici da parte dei quark incidenti.

La presenza di queste correzioni richiede di riorganizzare i calcoli perturbativi: infatti, se di solito si sceglie di troncare la serie perturbativa in α_s (costante di accoppiamento forte) ad un certo ordine, nel caso presente diventa invece necessario *risommare* i contributi di queste emissioni a tutti gli ordini perturbativi per ottenere una previsione affidabile. La risommazione produce un fattore esponenziale moltiplicativo noto come 'fattore di Sudakov'.

Lo schema di approssimazione dei Logaritmi Dominanti (LLA) consiste nel selezionare e risommare tutti i termini in cui è più grande la potenza del logaritmo (termini di tipo $\alpha_s^n \ell^{n+1}$ nell'esponente di Sudakov), trascurando i successivi. Lo schema di approssimazione ai Next-to-Leading Logarithms (NLL) prescrive invece di includere anche i termini del tipo $\alpha_s^n \ell^n$.

In letteratura si sono finora ottenute formule risommate per entrambe le grandezze: Collins, Soper e Sterman (1984) per la distribuzione a piccolo momento trasverso; Catani e Trentadue (1989) per la sezione d'urto alla soglia.

3. Motivazioni e risultato originale del lavoro di tesi: trattamento consistente in LLA di entrambi i regimi

In questo lavoro di Tesi, dopo aver approfondito i risultati ottenuti in letteratura nei due regimi separati, abbiamo considerato l'intersezione tra le due regioni limite.

Una tale analisi è suggerita, per esempio, dalla stimolante necessità di produrre previsioni teoriche affidabili per la distribuzione di momento trasverso di una coppia di quark *top*, prodotta al Tevatron o, in prospettiva, ad LHC: vista la grande massa del *top* recentemente osservato, infatti, si tratta di una quantità in regime di soglia, oltre che sondabile a piccolo momento trasverso. Un altro esempio altrettanto interessante è costituito dallo studio del momento trasverso dei bosoni elettrodeboli $W^{\pm}$ e Z^0 prodotti nelle collisioni adroniche.

Il *risultato* che abbiamo ottenuto è una formula originale, accurata al livello LLA, per la distribuzione a piccolo momento trasverso in condizioni di soglia.

Questa formula restituisce quelle citate in precedenza nel caso ci si restringa ad uno o all'altro dei due regimi cinematici limite.

Le *stime numeriche* che abbiamo realizzato confermano che la differenza tra le previsioni di questa nuova formula e le precedenti è sostanziosa appena si entra nel regime di soglia. In particolare prevediamo il restringimento delle distribuzioni di momento trasverso (a favore dei momenti trasversi molto piccoli) procedendo verso la soglia e, più in generale, un diverso valore assoluto tra le distribuzioni a piccolo momento trasverso calcolate con e senza gli effetti di soglia.

Confidiamo che sia a portata di mano un affinamento della formula fino al livello di accuratezza dei NLL, per il quale sono già note le formule nei due regimi-limite distinti.