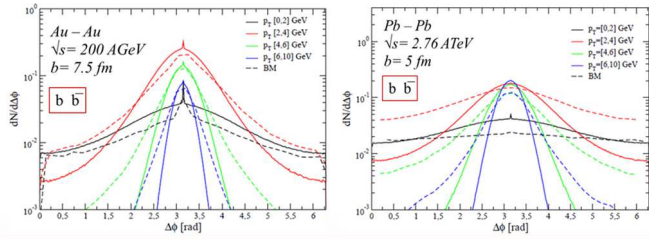


$Q\bar{Q}$, in quanto tale osservabile è molto sensibile agli aspetti microscopici della dinamica dei quark pesanti. I risultati ottenuti mostrano una differenza non trascurabile tra



l'approccio alla dinamica dei quark pesanti nel QGP attraverso l'equazione di Boltzmann e quella di Langevin.

Le differenze, di circa un fattore due tra i due approcci alla dinamica dei quark pesanti danno un'ulteriore indicazione che l'approssimazione della dinamica dei quark pesanti ad un moto di tipo Browniano non è adeguata a descrivere osservabili molto selettive, quali sono le correlazioni angolari nel piano azimutale tra coppie $Q\bar{Q}$.

Pertanto, dai risultati ottenuti possiamo dedurre che l'incertezza prodotta sull'equazione di Langevin dall'uso delle diverse implementazioni del teorema di fluttuazione-dissipazione non compromette l'utilizzo di questa equazione per descrivere la dinamica dei bottom nel QGP; un discorso analogo vale per i quark charm, se si tollerano incertezze attorno al 15%, per quanto riguarda lo studio delle osservabili $R_{AA}(p_T)$ e $v_2(p_T)$. Invece, il confronto con le correlazioni angolari determinate attraverso l'equazione di Boltzmann mostra una forte differenza tra i due approcci, evidenziando in tal modo come l'approssimazione di moto browniano non sia adeguata nè per i charm nè per i bottom quando si vanno a studiare osservabili fisiche molto sensibili alla dinamica dei quark pesanti, come le correlazioni tra coppie $Q\bar{Q}$.



Università degli Studi di Catania

Dipartimento di Fisica e Astronomia

Corso di Laurea Magistrale in Fisica

Jessica Ilaria Bellone

**DINAMICA DEI QUARK
PESANTI IN COLLISIONI
ULTRARELATIVISTICHE:
APPLICABILITÀ
DELL'EQUAZIONE DI
LANGEVIN**

Tesi di Laurea

Relatori

Chiar.mo Prof. Vincenzo Greco

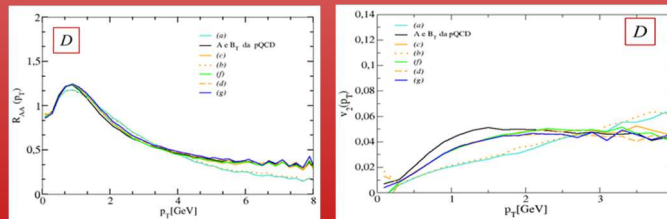
Dott. Scardina Francesco

Con il termine Quark Gluon Plasma (QGP) si intende lo stato deconfinato della materia adronica che viene prodotto nelle collisioni ultra-relativistiche di ioni pesanti. Il nostro Universo si sarebbe trovato in questo particolare stato fisico, fino a circa 10^{-5} s dopo il Big Bang; inoltre si suppone che il QGP possa costituire il nucleo di stelle superdense (stelle a neutroni e stelle di quark). Quindi l'interesse nello studio del QGP è legato ad una serie di fattori: essendo uno stato deconfinato di materia adronica (come confermato da calcoli di QCD su reticolo), esso può dare informazioni sull'interazione forte ad alte temperature e/o densità; inoltre, il QGP consente di ottenere informazioni più dettagliate sul rate di espansione dell'universo primordiale e sulla struttura delle stelle compatte.

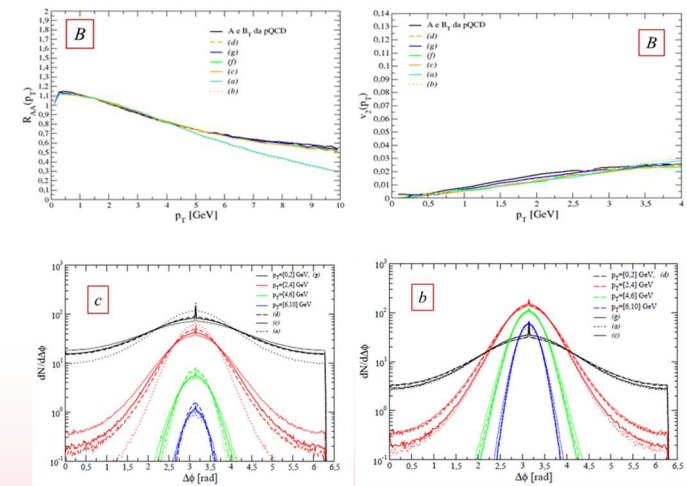
Lo studio della dinamica dei quark pesanti rappresenta uno dei mezzi per ottenere informazioni sul QGP creato nelle collisioni ultrarelativistiche tra ioni pesanti. Poiché la massa dei quark bottom (b) e charm (c) è molto più grande di quella dei quark leggeri (u, d, s) del QGP, ci si aspetta che essi tendano a disaccoppiarsi dal fluido di QGP in espansione, ossia il loro moto possa essere pensato come quello di particelle in un fluido, con viscosità molto piccola. Per questo motivo, anziché studiare la loro dinamica attraverso le equazioni idrodinamiche, è opportuno adoperare l'equazione di Boltzmann, che permette di ricavare informazioni direttamente sulla funzione di distribuzione nello spazio delle fasi di tali particelle, $f(x, p)$, anziché sul tensore energia-impulso $T^{\mu\nu}$. La complessità di questa equazione è legata al calcolo dell'integrale di collisione, che è un funzionale di $f(x, p)$; pertanto spesso tale funzionale viene approssimato, nell'ipotesi di piccoli impulsi trasferiti, ad un termine che semplifica la dinamica dei quark pesanti ad un moto di trascinarsi (drag), sovrapposto ad uno di diffusione. L'equazione che si ottiene facendo quest'approssimazione, ovvero l'equazione di Fokker-Planck, può essere riformulata in termini di un'equazione differenziale stocastica, l'equazione di Langevin, che permette di ricavare direttamente posizione ed impulso del singolo quark pesante. Affinché l'equazione di Fokker-Planck, ovvero l'equazione di Langevin, evolva verso la corretta soluzione di equilibrio è necessario imporre una condizione fra i coefficienti di drag e diffusione, che compaiono in tali equazioni, nota come teorema di fluttuazione-dissipazione. Nel caso non relativistico, poiché i coefficienti di drag e diffusione non dipendono dall'impulso p del quark pesante, la condizione che lega fra loro questi coefficienti è unica; viceversa, in regime relativistico, data la dipendenza da p

di tali coefficienti, sono possibili diverse formulazioni del teorema di fluttuazione-dissipazione, che possono influenzare quelle osservabili sensibili agli aspetti microscopici della dinamica dei quark pesanti. Da qui è nata l'idea di stimare l'impatto delle diverse formulazioni sulle osservabili del QGP, dato che queste formulazioni sono state utilizzate indistintamente da diversi gruppi di ricerca per lo studio della dinamica dei quark pesanti. Poiché dagli esperimenti condotti a RHIC e ad LHC è stato trovato che l'interazione tra quark pesanti e QGP è tutt'altro che perturbativa ed essendo l'equazione di Fokker-Planck un'approssimazione dell'equazione di Boltzmann nell'ipotesi di piccoli impulsi trasferiti, risulta criticabile l'approssimazione di moto Browniano. In questo lavoro di tesi è stato svolto uno studio sull'applicabilità dell'equazione di Langevin alla dinamica dei quark pesanti nel QGP, attraverso simulazioni delle diverse formulazioni del teorema di fluttuazione - dissipazione (nel caso relativistico) e, per la prima volta, sono state studiate le correlazioni angolari per i quark pesanti, confrontando i risultati ottenuti usando l'equazione di Langevin con quelli ottenuti adoperando l'equazione di Boltzmann. Sono state effettuate simulazioni di collisioni ultrarelativistiche tra ioni pesanti per due diverse energie: collisioni Au-Au ad un'energia del centro di massa $\sqrt{s} = 200$ AGeV e collisioni Pb- Pb ad energia $\sqrt{s} = 2.76$ ATeV, in modo tale da simulare gli eventi di collisione che sono stati realizzati a RHIC ed LHC, rispettivamente. Le simulazioni sono state effettuate sia per i quark charm ($m_c=1.3$ GeV) sia per i bottom ($m_b=4.2$ GeV).

In un primo momento, è stata studiata l'influenza delle varie forme del teorema di fluttuazione-dissipazione sulle osservabili dinamiche: fattore di soppressione degli spettri in impulso rispetto alle collisioni pp, $R_{AA}(p_T)$, flusso ellittico, $v_2(p_T) = \langle \cos(2\phi_p) \rangle$, dove ϕ_p è l'angolo azimutale del quark pesante, e le correlazioni angolari tra coppie quark-antiquark pesanti, $dN/d\Delta\phi$, essendo $\Delta\phi$ l'angolo tra gli impulsi della coppia; ciò è



stato fatto attraverso simulazioni nel caso di collisioni Au-Au.



I risultati ottenuti mostrano come le diverse formulazioni del teorema di fluttuazione-dissipazione influenzino poco $R_{AA}(p_T)$ calcolato per i mesoni D ed ancor meno quello calcolato per i mesoni B. Gli effetti sul $v_2(p_T)$ dei mesoni D sono maggiori rispetto a quanto trovato per $R_{AA}(p_T)$; in particolare, a parità di $R_{AA}(p_T)$, le diverse formulazioni del FDT portano a differenze del $v_2(p_T)$ fino ad un massimo del 15-20% nella regione di 1-2GeV.

Invece, il $v_2(p_T)$ per i mesoni B è poco influenzato dalle diverse formulazioni del teorema di fluttuazione-dissipazione. Dallo studio delle correlazioni angolari per i quark charm si trovano differenze fra le varie curve del 50-60% sia per quanto riguarda il picco della correlazione, sia nelle code di tale distribuzione; per i bottom si trovano nuovamente delle differenze piccole ed inferiori al 5%, specialmente nella zona del picco; quindi tali differenze non pregiudicano l'utilizzo dell'equazione di Langevin per studiarne la dinamica.

Infine sono state studiate le differenze tra equazione di Langevin ed equazione di Boltzmann, attraverso l'analisi delle correlazioni angolari per coppie di quark-antiquark pesanti,

