

Studio numerico dell'inversione di temperatura in un sistema
con interazioni a lungo raggio
Numerical study of temperature inversion in a
long-range-interacting system

Candidato : Ettore Canonici*

Relatore : Lapo Casetti†

Riassunto

Con interazioni a lungo raggio ci si riferisce a quelle derivate da potenziali che decadono a grandi distanze più lentamente di r^{-d} , con d dimensione dello spazio. La dinamica dettata da queste interazioni è dominata da effetti collettivi, detti di campo medio, piuttosto che dalle interazioni binarie a corto raggio (collisioni).

I sistemi con interazioni a lungo raggio sono molto diffusi: infatti, sia il potenziale gravitazionale sia quello di Coulomb in $d = 3$ sono a lungo raggio. Per la natura delle interazioni che li caratterizzano, se questi sistemi vengono portati fuori dall'equilibrio termodinamico, tendono a rimanere in stati quasi stazionari di non equilibrio per tempi che divergono con il numero dei costituenti.

Un fenomeno che si osserva in alcuni sistemi astrofisici fuori dall'equilibrio termodinamico è l'inversione di temperatura, ovvero l'anticorrelazione fra densità e temperatura: le parti più dense del sistema in esame sono più fredde rispetto a quelle meno dense e viceversa. Recentemente è stato proposto che questa sia in realtà un fenomeno tipico di tutti i sistemi con interazioni a lungo raggio fuori dall'equilibrio termodinamico. Studieremo l'inversione di temperatura in un modello unidimensionale detto di hamiltoniana di campo medio (modello HMF), e discuteremo la sua possibile spiegazione in termini della teoria di Scudder, che mostra come, partendo da una distribuzione delle velocità con code più alte di una maxwelliana, con l'azione di un campo esterno attrattivo si riesca ad ottenere l'inversione di temperatura.

L'obiettivo che ci siamo posti è stato quello di verificare che è possibile ottenere l'inversione di temperatura senza introdurre un campo esterno, partendo da una distribuzione non omogenea delle velocità e applicando una perturbazione di forte intensità e di breve durata.

Nel Capitolo 1 si discutono le principali caratteristiche dei sistemi con interazioni a lungo raggio e la teoria di Scudder. Il Capitolo 2 è dedicato a una presentazione del modello HMF. Nel Capitolo 3 si presentano i metodi numerici utilizzati e si discutono i risultati ottenuti. Per quanto riguarda i risultati, siamo partiti considerando un sistema di N particelle con condizioni iniziali termiche non omogenee (quindi con magnetizzazione finita e temperatura uniforme) e lo abbiamo perturbato per un breve intervallo di tempo applicando un intenso campo esterno. Dopo aver verificato che il sistema rilassa in uno stato quasi stazionario fuori dall'equilibrio dove è evidente l'inversione di temperatura, abbiamo analizzato la distribuzione delle velocità, mettendo in evidenza le code sovratermiche responsabili dell'inversione di temperatura, e l'evoluzione della struttura dello spazio delle fasi nel tempo. In seguito abbiamo studiato come l'inversione di temperatura risponda ad una variazione della durata della perturbazione e all'uso di condizioni iniziali con temperature diverse. Infine abbiamo rivolto l'attenzione ad un sistema con condizioni iniziali non omogenee ma non termiche (di tipo water-bag) ed abbiamo osservato anche in questo caso l'inversione di temperatura dopo che questo era stato perturbato per un breve intervallo di tempo con un campo esterno. I nostri risultati confermano che l'inversione della temperatura è un fenomeno che si può verificare in un generico sistema con interazioni a lungo raggio portato fuori dall'equilibrio, purché lo stato iniziale sia inomogeneo e subisca una perturbazione esterna tale da rendere sovratermica la distribuzione delle velocità.

*ettore.canonici@stud.unifi.it

†lapo.casetti@unifi.it