

Coarse graining simplettico e rilassamento violento in sistemi con interazioni a lungo raggio

Symplectic coarse graining and violent relaxation in long-range interacting systems.

Candidato: Luca Barbieri

luca.barbieri1@stud.unifi.it

Relatore: Lapo Casetti

lapo.casetti@unifi.it

Fra i sistemi di particelle interagenti, di particolare importanza sono i sistemi con interazioni a lungo raggio. In tali sistemi i potenziali di interazione decadono con la distanza interparticellare r più lentamente di r^{-d} , dove d è la dimensione dello spazio. In natura esistono molti sistemi con interazioni a lungo raggio: i sistemi stellari autogravitanti come le galassie ellittiche e gli ammassi globulari, oppure i plasmi non neutri, oppure ancora i vortici in un fluido bidimensionale. La dinamica di questi sistemi è dominata dagli effetti di campo medio, piuttosto che dalle collisioni fra particelle. Questo fa sì che il tempo di rilassamento τ dovuto alle collisioni che portano all'equilibrio termodinamico divergano con il numero N di particelle che costituiscono il sistema, perché $\tau \propto N$. Ad esempio, nelle galassie questi tempi di rilassamento sono molto maggiori dell'età dell'universo. Per questo motivo è fisicamente interessante andare a studiare la dinamica su scale di tempo più brevi di τ e in tale regime l'evoluzione della funzione di distribuzione obbedisce alla cosiddetta equazione di Vlasov. Le simulazioni numeriche degli osservabili macroscopici hanno mostrato che in questi sistemi si verifica il cosiddetto rilassamento violento: dopo alcune oscillazioni collettive, il sistema si assesta in uno stato quasi stazionario, nonostante l'equazione di Vlasov non presenti termini di dissipazione. Da un punto di vista dello spazio delle fasi, questo fenomeno può essere spiegato notando che la dinamica di Vlasov evolve senza dissipazioni ma su scale sempre più piccole, tali da non influenzare più gli osservabili macroscopici che quindi si assestano su un valore stazionario. A tutt'oggi, una teoria generale in grado di descrivere il meccanismo di rilassamento violento e prevedere la forma dello stato quasi stazionario non è disponibile.

In questo lavoro di tesi ci siamo basati sull'idea che gli effetti a piccola scala non sono rilevanti al fine di descrivere l'evoluzione degli osservabili macroscopici, dunque abbiamo introdotto una funzione di distribuzione *coarse-grained* e un'equazione efficace in grado di descriverne l'evoluzione. L'equazione da noi ottenuta generalizza un'equazione valida per sistemi unidimensionali a sistemi con Hamiltoniana di campo medio integrabile in qualsiasi dimensione. Il meccanismo di rilassamento violento viene spiegato da quest'equazione come una diffusione lungo i tori invarianti dovuti all'ipotesi di integrabilità. Abbiamo verificato che per la dinamica descritta da quest'equazione le leggi di conservazione di un sistema macroscopico isolato (energia, impulso e momento angolare totali) sono ancora valide. Successivamente abbiamo ottenuto una previsione per una grandezza osservabile: i tempi di rilassamento dei modi di Fourier della funzione di distribuzione. Il fatto di aver esteso l'equazione a dimensionalità generica permette di testare la teoria su casi di interesse fisico, come la gravità $3d$ a simmetria sferica. Per fare questo, abbiamo considerato un modello che emula il comportamento della gravità $3d$ a simmetria sferica, noto in letteratura come modello a shell. Basandoci su tale modello, abbiamo proposto una procedura per testare la predizione teorica: il lavoro numerico è ancora in corso. Nella parte finale ci siamo proposti di capire come poter estrarre altre grandezze osservabili dall'equazione efficace che abbiamo ottenuto. Siamo partiti dal caso unidimensionale, in cui l'equazione si riduce a quella già nota in letteratura, e abbiamo applicato il cosiddetto metodo dei momenti d'inerzia. Nello specifico, abbiamo considerato il modello HMF e con l'utilizzo di questo metodo siamo riusciti a predire l'andamento della magnetizzazione nel tempo. Abbiamo poi confrontato tale andamento con quello predetto da una dinamica molecolare, trovando un buon accordo fra predizione teorica e risultato numerico.