

COMPITI E SUDDIVISIONE FONDI TRA LE UNITÀ DI RICERCA
prot. 2005020095

Coordinatore Scientifico	Stefano RUFFO
Ateneo	Università degli Studi di FIRENZE
Titolo della Ricerca	Dinamica e termodinamica di sistemi con interazione a lungo raggio
Finanziamento assegnato	Euro 110.000
Durata	24 Mesi

Obiettivo della Ricerca

Per interazioni a lungo raggio il potenziale di interazione a due corpi decade, a grandi distanze, con una legge a potenza minore della dimensione spaziale. Le proprietà termodinamiche e dinamiche dei sistemi fisici con interazioni a lungo raggio erano poco comprese fino a pochi anni fa, ed il loro studio era ristretto all'astrofisica (sistemi auto-gravitanti). Negli ultimi anni si è assistito ad un importante progresso nella comprensione delle proprietà termodinamiche dei sistemi interagenti a lungo raggio. È stato dimostrato che un appropriato "limite termodinamico", quando il numero di particelle tende all'infinito a volume fissato, può essere eseguito, ma, come prezzo da pagare, gli insiemi statistici non sono equivalenti, e ciò conduce ad effetti anomali, quali il calore specifico negativo nell'insieme microcanonico. I sistemi fisici con interazioni a lungo raggio, oltre la gravità, sono: sistemi coulombiani non schermati (fasci di ioni, plasmi carichi freddi intrappolati), interazioni onda-particella, laser a rinculo atomico collettivo, catene di spin anti-ferromagnetici con asse di magnetizzazione preferenziale dominate da interazioni dipolari, vortici in meccanica dei fluidi bidimensionale.

Oltre alle strane proprietà termodinamiche menzionate, i sistemi con interazioni a lungo raggio mostrano anche un rilassamento all'equilibrio estremamente lento e la presenza di stati quasi-stazionari, la cui durata aumenta quando il numero di particelle tende all'infinito, impedendo al sistema di raggiungere l'equilibrio. Nella nostra prevista collaborazione studieremo sia gli aspetti termodinamici che quelli dinamici fuori dall'equilibrio, concentrando la nostra attenzione sulle seguenti classi di sistemi fisici: sistemi auto-gravitanti (con particolare attenzione al raggruppamento gravitazionale ed agli ammassi globulari), sistemi coulombiani (fasci di ioni ad alta intensità negli acceleratori di particelle, laser ad elettroni liberi (FEL)), sistemi atomici (Laser a Rinculo Atomico Collettivo, CARL), modelli di spin di Heisenberg (rottura dell'ergodicità e tunneling quantistico dovuto al lungo raggio combinato con l'anisotropia dell'interazione), sistemi onda-particella di rilevanza per la fisica dei plasmi (Tubi ad Onda Progressiva (TWT)). Inoltre, esploreremo in dettaglio le proprietà delle interazioni a lungo raggio in modelli giocattolo per i quali si può ottenere un trattamento completamente analitico, e che sono, in un certo senso, paradigmatici per il comportamento di sistemi più complessi e più realistici. Tra questi, il cosiddetto modello Hamiltoniano di Campo Medio (HMF) (in cui le particelle sono completamente accoppiate con un potenziale di coppia a coseno) e le sue generalizzazioni, il modello alpha-XY (dove l'interazione decade debolmente con la distanza). Studieremo anche gli effetti combinati di interazioni a corto e a lungo raggio sia in semplici modelli di Ising che in modelli che descrivono la demagnetizzazione dipolare in catene anti-ferromagnetiche con asse di magnetizzazione preferenziale, motivati dal loro interesse sperimentale. La grande varietà di sistemi fisici che esploreremo giustifica l'estensione del gruppo di ricerca a cinque Unità, ognuna di esse specializzata in argomenti specifici. Tuttavia ciò non implica una mancanza di convergenza, poiché, sebbene i sistemi fisici siano differenti, le tecniche che adotteremo nella loro analisi sono essenzialmente le stesse (estensive simulazioni numeriche di dinamica molecolare usando i cluster ad alte prestazioni di processori disponibili a Roma al Centro Fermi ed a Bologna al Dipartimento di Fisica, metodi delle grandi deviazioni e di Laplace per la soluzione della termodinamica canonica e microcanonica). I modelli che useremo sono fondamentalmente trasversali nello studio di sistemi fisici differenti, per esempio la teoria di campo medio, l'equazione di Vlasov-Poisson, la meccanica statistica non estensiva. Circa la rilevanza sperimentale dei nostri studi teorici e numerici, da menzionare la collaborazione dell'Unità di Bologna con il GSI sulle correnti di ioni ad alta intensità negli acceleratori di particelle, la già iniziata collaborazione del gruppo di Firenze con il Laboratorio Elettra di Trieste sul livello di saturazione dei laser ad elettroni liberi e sul controllo della dinamica dei FEL, e con la "Equipe Turbulence Plasma" di Marsiglia sui modelli di interazione onda-particella che descrivono i TWT. Una collaborazione preliminare è anche iniziata con il gruppo sperimentale guidato da Al Sievers all'Università di Cornell, sugli effetti dipolari in anti-ferromagneti con asse di magnetizzazione preferenziale. Oltre a questo, ogni Unità è fortemente coinvolta in collaborazioni internazionali con diversi laboratori stranieri. Selezionando alcuni dei risultati che contiamo di raggiungere, si può cominciare con il campo dell'astrofisica, dove la comprensione del ruolo degli effetti di "granularità", dovuti al numero finito di particelle, sul raggruppamento gravitazionale e sulla formazione di strutture a larga scala nell'Universo, è uno dei maggiori problemi aperti. Andando ai fasci di ioni, di nuovo effetti di "discretizzazione" sono rilevanti nel rilassamento collisionale all'equilibrio statistico di Boltzmann-Gibbs e nella non banalità della teoria cinetica (cammini di Levy, diffusione debolmente caotica), così come studiato dall'Unità di Bologna. Oltre alla soluzione di modelli tipo Ising con interazioni a corto e a lungo raggio, ottenibile con le attuali tecniche analitiche e che sarà affrontata dalle Unità di Firenze e di Roma nella prima fase del progetto, un reale avanzamento sarebbe ottenuto risolvendo anche modelli tipo Heisenberg con interazioni a corto e a lungo raggio, dove le prime descrivono l'interazione di scambio spin-spin a primi vicini e le seconde gli effetti dipolari demagnetizzanti. Questo potrebbe essere direttamente confrontato con gli esperimenti eseguiti da Sievers a Cornell. Su questi temi esiste già una collaborazione con Thierry Dauxois all'ENS di Lione. La saturazione dei FEL ad un primo plateau, ben caratterizzata dalla meccanica statistica di Vlasov (come mostrato molto recentemente dall'Unità di Firenze) non risolve completamente il problema, e l'accordo con i risultati sperimentali è ancora incerto, aprendo la via ad una direzione di ricerca di estrema importanza nella costruzione dei FEL, da condurre in stretta collaborazione con il gruppo Elettra guidato da G. De Ninno. Il controllo della dinamica del FEL sarà un argomento principale di collaborazione, a causa della forte relazione con il controllo della diffusione nel modello onda-particella dei TWT: tale ricerca produrrà un'importante collaborazione con il gruppo teorico al CPT-CNRS di Marsiglia (Cristel Chandre) e con il gruppo

sperimentale di Fabrice Doveil alla "Equipe Turbulence Plasma" di Marsiglia. L'inversione di magnetizzazione è ostacolata dalla disgiunzione topologica della superficie di energia nelle interazioni a lungo raggio di Heisenberg anisotropiche, come mostrato dall'Unità di Brescia. Ciò che accade quando gli effetti quantistici sono presi in considerazione è completamente sconosciuto. È probabile che tunneling quantistico macroscopico e coerenza quantistica possano apparire, vere manifestazioni macroscopiche estreme della meccanica quantistica. Per concludere, sebbene possa apparire accademico, ottenere una comprensione completa e soddisfacente degli stati quasi-stazionari nei modelli HMF e alpha-XY (un compito che sarà affrontato dalle Unità di Firenze, Roma e Catania) potrebbe essere di estrema importanza per la spiegazione di fenomeni simili presenti in sistemi auto-gravitanti ed in plasmii carichi freddi. È importante menzionare che interazioni a lungo raggio sono presenti anche al di fuori della Fisica (sistemi neurali, sistemi sociali ed economici), e limitati studi in tali direzioni saranno affrontati dalle Unità di Firenze e di Catania.

Innovazione rispetto allo stato dell'arte nel campo

Le proprietà fisiche dei sistemi con interazioni a lungo raggio sono, in gran parte, capite solo in modo frammentario, sebbene esse costituiscano un ampio spettro di problemi in Fisica. Recentemente, la scoperta di nuovi metodi per affrontare lo studio di questi sistemi ha rivelato la loro importanza in una prospettiva interdisciplinare (astrofisica, fisica nucleare, fisica dei plasmii, cluster metallici, idrodinamica). Le difficoltà principali sono rappresentate dalla costruzione di un trattamento termodinamico e dalla comprensione delle loro proprietà dinamiche. Poiché le interazioni a lungo raggio appaiono in diverse aree scientifiche, rimangono da capire analogie e differenze. Esempi classici di sistemi con interazioni a lungo raggio sono i sistemi auto-gravitanti, i sistemi Coulombiani non schermati, i vortici in fluidodinamica bidimensionale, le interazioni onda-particella, le particelle cariche intrappolate, ed anche, in materia condensata, le catene di spin antiferromagnetiche con una direzione di magnetizzazione preferenziale, dove gli effetti dipolari diventano dominanti.

Tali sistemi sono termodinamicamente non "estensivi" ed intrinsecamente "non additivi". Ossia, se divisi in due o più sottosistemi macroscopici, l'energia totale (o altre quantità estensive) del sistema non è necessariamente uguale alla somma delle energie dei sottosistemi. Poiché l'additività è un ingrediente essenziale nella derivazione della termodinamica e della meccanica statistica dei sistemi con interazioni a corto raggio, la sua violazione può condurre ad effetti interessanti ed inusuali. Per esempio, non è più garantito che gli insiemi statistici siano equivalenti, il calore specifico potrebbe essere negativo nell'insieme microcanonico, e discontinuità della temperatura potrebbero apparire alle transizioni di fase del primo ordine. Lo schema teorico per trattare le proprietà statistiche dei sistemi i cui costituenti interagiscono tramite forze che decadono rapidamente con la distanza (forze a corto raggio) ed hanno un nocciolo repulsivo a corta distanza, è ben fondato ed è basato sull'esistenza del limite termodinamico e sull'equivalenza degli insiemi microcanonico e canonico di Boltzmann e Gibbs. Per lungo tempo lo studio del comportamento collettivo dei sistemi a molti corpi interagenti tramite forze a lungo raggio è stato un campo coltivato quasi esclusivamente dagli astrofisici e l'applicazione della meccanica statistica a tali sistemi è stata considerata con sospetto. L'applicazione della meccanica statistica dell'equilibrio di Boltzmann-Gibbs a sistemi a lungo raggio è infatti problematica poiché il limite termodinamico non è ben definito e le condizioni base sulla "temperatura" dei potenziali in generale non sono valide.

Un approccio alternativo ai sistemi con interazioni a lungo raggio è il cosiddetto "riscaldamento di campo medio". In effetti, nei sistemi interagenti a lungo raggio tutte le particelle contribuiscono al campo locale e le fluttuazioni intorno al valore medio sono piccole, a causa della legge dei grandi numeri. Ciò spiega qualitativamente perché il riscaldamento di campo medio, che equivale a far tendere all'infinito il numero delle particelle, a volume fissato, produce generalmente risultati estremamente buoni. Questo approccio è alla base di importanti recenti avanzamenti, che hanno condotto alla soluzione di una vasta classe di modelli tramite la teoria delle "grandi deviazioni". La meccanica statistica di alcuni modelli con variabili di stato sia discrete che continue è stata recentemente ottenuta usando la teoria delle grandi deviazioni. I risultati menzionati sopra sono tutti ottenuti nel limite continuo di campo medio, di tipo adatto ai fluidi. Questo approccio è stato criticato, specialmente per i sistemi auto-gravitanti. Un problema teorico fondamentale è se e sotto quali condizioni il modello fluido sia una buona rappresentazione delle simulazioni a N corpi, che sono eseguite con un numero grande ma finito di particelle. Questo argomento è stato considerato anche per modelli-giocattolo di campo medio. Per esempio, uno studio dettagliato degli effetti di "granularità" o di "discretizzazione" è stato affrontato per il modello "Hamiltoniano di Campo Medio" (HMF), un semplice modello di particelle che si muovono su un anello ed interagenti con un potenziale a coseno "tutti con tutti" (raggio infinito). Sebbene il modello non presenti effetti inusuali nel suo comportamento termodinamico (il calore specifico è sempre positivo), la dinamica produce stati quasi-stazionari fuori dall'equilibrio, la cui durata diverge con una potenza del numero N di particelle. Diverse interpretazioni sono state proposte per questo fenomeno: i) la stabilità di questi stati potrebbe essere dovuta alla "vicinanza" di stati stazionari stabili dell'equazione di Vlasov, un'equazione che descrive bene il modello HMF nel limite continuo di campo medio; ii) tali stati potrebbero essere veri stati di equilibrio di una differente meccanica statistica, chiamata meccanica statistica non estensiva o statistica di Tsallis, che dovrebbe essere particolarmente appropriata per trattare sistemi non additivi; iii) ci potrebbe essere un'analogia tra questi stati quasi-stazionari e gli effetti di invecchiamento osservati nei vetri di spin. Le tre interpretazioni sono attualmente discusse con fervore nella letteratura. È da rimarcare che simili stati quasi-stazionari sono stati trovati anche, per sistemi auto-gravitanti in simulazioni con codici Newtoniani a N corpi, e in esperimenti di laboratorio per plasmii freddi intrappolati. Questo giustifica il termine "paradigmatico" talvolta usato per il modello HMF.

Per quanto concerne le applicazioni della teoria del lungo raggio, si possono menzionare l'astrofisica (formazione di strutture coerenti, ammassi globulari) ed i sistemi Coulombiani (acceleratori di particelle, plasmii freddi). In entrambi i casi ci sono serie prospettive di arrivare ad un confronto stringente dei progressi teorici che otterremo con dati sperimentali. Inoltre, ci sono alcuni campi dove le applicazioni dei risultati teorici che abbiamo ottenuto, ha già raggiunto il livello sperimentale. Questi sono: i) i laser ad elettroni liberi, ii) i laser a rinculo atomico collettivo. Questi sono descritti sotto.

-Laser ad elettroni liberi (FEL)

Recentemente è stato introdotto un semplice modello Hamiltoniano che descrive la dinamica di un amplificatore FEL. Esso si riduce al modello onda-particella ridefinendo opportunamente l'insieme delle variabili, ed ha una forte somiglianza con il modello HMF ampiamente studiato. Recentemente, è stato mostrato che la teoria statistica dell'equazione di Vlasov predice l'intensità media del laser saturato, il restringimento del fascio di elettroni e la distribuzione di velocità degli elettroni. I risultati analitici si accordano molto bene con simulazioni numeriche dirette, rappresentando quindi una solida base per estensioni future.

-Rinculo atomico collettivo

Le interazioni risonanti tra gli atomi ed il campo elettromagnetico costituiscono un altro esempio di interazioni a lungo raggio. Un

modello sviluppato negli anni scorsi (chiamato CARL, Laser a Rinculo Atomico Collettivo) corrisponde fundamentalmente ad un insieme di "particelle" accoppiate globalmente, con l'accoppiamento fornito da due campi elettromagnetici. Esistono anche sistemi "piccoli", dove il raggio dell'interazione è dell'ordine della taglia del sistema. Anche in questo caso l'energia è non additiva, a causa del contributo rilevante dell'energia di superficie. Si è studiato, come esempio paradigmatico, un semplice modello di Heisenberg con accoppiamenti a lungo raggio anisotropici, ed è stata discussa la rilevanza della rottura di ergodicità. Ciò potrebbe aprire la strada allo studio di effetti di lungo raggio in sistemi a pochi corpi fortemente correlati, che sono rilevanti per dispositivi nanotecnologici.

Criteri di verificabilità

Divideremo il progetto in due fasi, corrispondenti al primo ed al secondo anno della collaborazione. Organizzeremo due incontri di lavoro, ai quali parteciperanno rappresentanti di tutte le Unità ed anche il personale assunto per il progetto: il primo alla fine della Fase 1, il secondo a meta' della Fase 2. Inviteremo agli incontri anche i gruppi di ricerca ed i ricercatori esterni che collaborano con le nostre Unità. Sarà in particolare importante giudicare lo stato di avanzamento delle collaborazioni con i gruppi sperimentali, che sono: Elettra (Trieste) per il laser ad elettroni liberi, GSI-Darmstadt per gli acceleratori di particelle, il gruppo di Al Sievers a Cornell per i sistemi magnetici.

Il criterio principe di verifica dei risultati conseguiti è quello della pubblicazione su riviste internazionali con referee. Sarà cura del coordinatore nazionale del progetto verificare la produttività dei vari gruppi ai differenti stadi del progetto, possibilmente con scadenza almeno semestrale. Al proposito apriremo un sito web della collaborazione, dove raccoglieremo tutte le pubblicazioni in corso, e che servirà anche da Forum per l'interazione delle differenti Unità del progetto.

Anche la partecipazione a conferenze internazionali è un criterio che permetterà di valutare l'attività ed i risultati della collaborazione. La risonanza dei risultati che otterremo sarà un primo segnale del fatto che stiamo lavorando bene.

Elenco delle Unità di Ricerca

Sede dell'Unità	Università degli Studi di FIRENZE
Responsabile Scientifico	Stefano RUFFO
Finanziamento assegnato	Euro 23.000

Compito dell'Unità

Fase I (primo anno)

Attraverso la teoria delle grandi deviazioni ed altri metodi, cercheremo soluzioni esatte ed approssimate di modelli dove l'interazione dipende debolmente dalla distanza tra le particelle. Prevediamo di collaborare su questo argomento con l'Unità 5. Investigheremo la rottura dell'ergodicità per alcuni reticoli con interazione a primi vicini, ed anche se questo fenomeno sia presente quando l'interazione tra gli spin decade con la distanza. Saranno studiati modelli sia classici che quantistici, in collaborazione con l'Unità 4. Le tecniche che permettono di trattare interazioni a lungo raggio saranno estese per includere interazioni a corto raggio per semplici sistemi tipo Ising. In [Fanelli D., Tesi di Laurea, Università di Firenze, Firenze, Italy (1996)] è stato eseguito un esteso studio analitico dell'instabilità "bump-on tail" per sistemi onda-particella. Progettiamo di adattare questa derivazione al caso del laser ad elettroni lineari. Inoltre, estenderemo l'approccio statistico a modelli più completi ed a schemi complessi (per esempio, generazione di armoniche). Prevediamo di estendere l'approccio topologico alle transizioni di fase [Casetti L., Pettini M., Cohen E.G.D. *Physics Reports* 337, 237-342 (2000)] per permettere il trattamento di modelli con interazioni a lungo raggio dove c'è non equivalenza tra la termodinamica canonica e quella microcanonica.

Le interazioni dipolari sono essenziali per capire i fattori demagnetizzanti negli esperimenti di eccitazione di catene di anti-ferromagneti con direzione di magnetizzazione preferenziale. Questo è un intero campo di fenomeni dove i risultati ottenuti per le interazioni a lungo raggio possono trovare interessanti ed utili applicazioni sperimentali. Investigheremo le proprietà dinamiche e termodinamiche di modelli recentemente proposti, che ha interazioni sia a primi vicini che a raggio infinito.

-Risultati

Non equivalenza di insiemi statistici per sistemi con interazioni a corto ed a lungo raggio. Rottura dell'ergodicità per modelli finiti di Heisenberg.

Soluzione della meccanica statistica del modello di Sievers di catene di anti-ferromagneti con direzione di magnetizzazione preferenziale.

Fase II (secondo anno)

Ci proponiamo di migliorare il modello di rinculo atomico collettivo (CARL), per renderlo più vicino agli esperimenti. Proponiamo un metodo per controllare la dinamica del laser ad elettroni liberi, basato su un recente approccio per controllare il caos in sistemi Hamiltoniani [Vittot M., Chandre C., Ciraolo G., Lima R., *Nonlinearity* 18 1-18 (2005)]. Questi ultimi studi saranno eseguiti in stretta collaborazione con il gruppo sperimentale FEL ad Elettra (Trieste), guidato da Giovanni De Ninno, con l'Equipe Turbulence Plasma (Fabrice Doveil e Dominique Escande) e CPT-CNRS (Cristel Chandre) a Marsiglia. Al di fuori del dominio della Fisica, interazioni a lungo raggio trovano applicazioni nello studio della dinamica di reti neurali. Modelli di oscillatori accoppiati [A. Zumdick, M. Timme, T. Geisel, F. Wolf, *Phys. Rev. Lett.*, 93 (2004) 244103] sono stati introdotti per investigare l'origine dei lunghi transienti in reti neurali, variando dal caso globalmente accoppiato all'accoppiamento a legge di potenza. Studieremo la rilevanza di questo fenomeno per l'immagazzinamento e l'elaborazione dell'informazione in sistemi neurali [G. Buzsaki et al., *Trends in Neurosciences*, 27 (2004) 186].

-Risultati

Miglioramento del modello CARL. Controllo della dinamica del laser ad elettroni liberi. Spiegazione dell'origine dei lunghi transienti in modelli di oscillatori accoppiati a lungo raggio, che simulano sistemi neurali.

Sede dell'Unità	Università degli Studi di CATANIA
Responsabile Scientifico	Andrea RAPISARDA
Finanziamento assegnato	Euro 20.000

Compito dell'Unità

Fase I (primo anno)

Studieremo la dinamica anomala del rilassamento lento osservato nel modello HMF e nelle sue generalizzazioni, come il modello α -XY, con un'attenzione specifica al ruolo delle condizioni iniziali. Come schemi teorici per questo fenomeno useremo la statistica di Tsallis [C. Tsallis, *J. Stat. Phys.*, 52,479 (1988)] e la super-statistica di Beck-Cohen [C. Beck, E.G.D. Cohen, *Physica A*, 322, 267 (2003)]. Inoltre, questa dinamica anomala ha una relazione con il rilassamento lento in sistemi vetrosi. Eseguiremo sia simulazioni numeriche che calcoli analitici usando il metodo delle repliche o della cavità, ben noti nei sistemi disordinati. Su questi argomenti è già cominciata una collaborazione con I. Giardina (Roma), C. Anteneodo (Rio de Janeiro), F. Tamarit (Cordoba, Argentina). Si prevedono collaborazioni con le Unità 1 e 5. Sono previste applicazioni per lo studio della multiframmentazione dei nuclei e della formazione di galassie. Stati metastabili sono presenti anche nel modello di oscillatori globalmente accoppiati di Kuramoto. Studieremo questo modello in connessione con le applicazioni alle giunzioni di Josephson e alle reti neurali. Studieremo la connessione tra la dinamica anomala osservata nel modello HMF e quella rivelata numericamente per mappe a poche dimensioni.

-Risultati

Spiegazione della dinamica anomala (diffusione lenta e veloce) osservata nei modelli HMF in termini della meccanica statistica non estensiva. Legame tra questo tipo di dinamica lenta e quella osservata nei sistemi disordinati. Applicazione alla multiframmentazione nucleare. Metastabilità nei modelli di Kuramoto e nelle mappe di bassa dimensione.

Fase II (secondo anno)

Oltre a continuare la ricerca sugli argomenti descritti nella prima fase, investigheremo l'applicazione di questi studi oltre la Fisica a: orientamento e comportamenti collettivi emergenti in gruppi di insetti, batteri e pesci; comportamento intermittente nei mercati finanziari; formazione del consenso e sincronizzazione del comportamento degli agenti. Studieremo reti altamente connesse di diversi tipi (individui, città, routers), che hanno caratteristiche di assenza di scala e di "small-world", seguendo anche una recente applicazione a questo campo della statistica di Tsallis [D.J.B. Soares, *Europh. Lett.*, 70, 70 (2005)].

-Risultati

Applicazioni della teoria delle interazioni a lungo raggio, provenienti dall'approccio della meccanica statistica non estensiva, a: biologia (comportamento animale), finanza, studi sociali. Approcci teorici a reti senza scala e di "small world".

Sede dell'Unità	Università degli Studi di ROMA "La Sapienza"
Responsabile Scientifico	Andrea GIANSAANTI
Finanziamento assegnato	Euro 32.000

Compito dell'Unità

Fase I (primo anno)

I temi di questa unità di ricerca sono: la meccanica statistica dei modelli in campo medio, la termodinamica e la dinamica degli ammassi globulari e il problema cosmologico a N corpi. In questi campi abbiamo separatamente acquistato una certa esperienza. La nostra unità interna sta nell'uso di un approccio comune basato sulla fisica statistica e sulle simulazioni di dinamica molecolare. Studieremo non equivalenza di ensemble e stati quasi stazionari, che sembrano essere caratteristiche essenziali, dovute al lungo raggio, sia in sistemi magnetici discreti che in modelli continui. Svilupperemo anche un modello di evoluzione di un ammasso globulare fino alla instabilità gravotermica, considerando l'evaporazione delle stelle come fattore determinante della dinamica. La produzione e l'analisi di impegnative simulazioni saranno il punto di inizio di questo studio teorico. Un altro tema è l'aggregazione gravitazionale, il problema della formazione di strutture sotto l'azione della gravitazione a partire da distribuzioni di particelle inizialmente uniformi. L'attenzione verrà posta sugli effetti collisionali, dovuti alla natura discreta delle particelle e su tecniche di "coarse graining" per esportare i risultati su larga scala. Anche in questo studio il punto di partenza saranno le simulazioni di modelli su reticolo, molto semplici e controllabili.

-Risultati

Comprensione della connessione tra rottura dell'equivalenza degli ensembles e comparsa di stati a lunga vita media in una classe generale di modelli a lungo raggio. Costruzione di uno schema teorico per la stabilità dinamica e l'evoluzione degli ammassi in presenza di forze mareali dovute al campo gravitazionale della galassia. Sviluppo di un approccio teorico, basato su teoria e simulazione, in grado di controllare le approssimazioni tipiche dei modelli a fluido della cosmologia.

Fase II (secondo anno)

Dopo lo studio generale della prima fase ci si concentrerà su sistemi magnetici e continui che permettono di controllare il range dell'interazione (ad es. il modello "alpha-XY" precedentemente studiato). Le proprietà dinamiche dovrebbero riscaldare in modo universale con il raggio delle interazioni. Studieremo funzioni di distribuzione delle velocità, rottura dell'ergodicità e gli effetti delle condizioni al contorno sulle proprietà statiche e dinamiche. Il secondo tema si orienterà allo studio termodinamico dell'evoluzione di un ammasso globulare. La forma funzionale della distribuzione di velocità sembra essere piuttosto stabile e suggerisce una descrizione dell'evoluzione come una sequenza di stati di equilibrio locali. Nello studio dell'aggregazione gravitazionale l'attenzione verrà posta sull'evoluzione dinamica delle correlazioni e sulla dipendenza delle strutture dalle condizioni iniziali.

-Risultati

Raggiungere uno schema universale per rinormalizzare, attraverso il raggio dell'interazione, sia le proprietà statiche che quelle dinamiche in una grande classe di sistemi magnetici discreti e continui. Generalizzare uno schema di termodinamica statistica all'evoluzione di un ammasso globulare, calcolando diverse grandezze termodinamiche nello schema di equilibrio locale. Ottenere un modello semplice dell'aggregazione gravitazionale che si possa confrontare con la distribuzione reale di galassie.

Sede dell'Unità	Università Cattolica del Sacro Cuore
Responsabile Scientifico	Fausto BORGONOVÌ
Finanziamento assegnato	Euro 18.000

Compito dell'Unità

Fase I (primo anno)

Modelli di Heisenberg classici con interazioni anisotropiche a con interazioni a raggio infinito mostrano, sotto un'energia critica, una disgiunzione topologica della superficie di energia caratterizzata da un differente segno della magnetizzazione. Nella prima fase del progetto verificheremo se un fenomeno simile appare anche per interazioni che decadono lentamente e se invece viene prevenuto quando l'interazione diventa a corto raggio. Reticoli di differenti dimensioni saranno considerati in simulazioni numeriche (fino a 3D). È probabile che in 1D otterremo anche risultati analitici. Sopra questa soglia si sono trovate leggi di scala universali per l'inversione di magnetizzazione nel caso di accoppiamento "tutti con tutti". Studieremo se queste leggi di scala si estendono anche al caso di lungo raggio con debole decadimento. Esempi di questo fenomeno possono apparire in micromagneti ed anche in anti-ferromagneti con direzione di magnetizzazione preferenziale.

-Risultati

Estensione dello studio della soglia di non ergodicità, trovata negli spin di Heisenberg anisotropici completamente accoppiati, alle interazioni con debole decadimento. Studio analitico del caso 1D. Studio numerico di reticoli a dimensione maggiore. Applicazioni ai micromagneti ed agli anti-ferromagneti uniaxiali.

Fase II (secondo anno)

I risultati ottenuti nel caso classico saranno estesi al dominio quantistico. Nella regione di disgiunzione topologica della superficie di energia, potrebbero apparire dei fenomeni macroscopici di tunneling quantistico, o anche di coerenza macroscopica quantistica (oscillazioni regolari della magnetizzazione globale). Questo fenomeno, se rivelato, indicherebbe senza ambiguità la presenza di interferenza quantistica di stati macroscopici distinti. Algoritmi specifici saranno sviluppati per risolvere l'equazione di Schroedinger per questi sistemi a molti corpi. Nella regione di inversione di magnetizzazione classica, fenomeni di tunneling potrebbero accelerare la scala di tempo.

-Risultati

Studio del ristabilimento dell'ergodicità per modelli di spin di Heisenberg anisotropici. Studio dell'inversione di magnetizzazione per modelli di Heisenberg quantistici. Sviluppo di specifici codici quantistici.

Sede dell'Unità	Università degli Studi di BOLOGNA
Responsabile Scientifico	Giorgio TURCHETTI
Finanziamento assegnato	Euro 17.000

Compito dell'Unità

Fase I (primo anno)

Sistemi di particelle cariche confinate da un potenziale esterno mostrano un lento rilassamento verso l'equilibrio. Il modello studiato ha una intensa corrente continua che scorre in un anello. Se le particelle si raggruppano lungo l'anello, il modello assume una caratteristica tridimensionale. Nella prima fase del progetto cercheremo di determinare le differenze nel rilassamento all'equilibrio tra la configurazione di particelle bidimensionale e quella tridimensionale. Specifici codici PIC saranno sviluppati per le simulazioni.

-Risultati

Differenza nelle leggi di scala del rilassamento all'equilibrio canonico per configurazioni di particelle 2D e 3D. Produzione di efficienti codici PIC per la simulazione.

Fase II (secondo anno)

Sarà studiato il problema del rilassamento all'equilibrio termico della focalizzazione dipendente dal tempo, sviluppando un

approccio di meccanica statistica nello spazio delle fasi esteso e confrontando i risultati con simulazioni numeriche. Studieremo la possibile differenza tra il trattamento microcanonico e canonico e controlleremo l'accordo con la teoria cinetica di Landau. A tal fine svilupperemo specifici algoritmi simplettici di complessità computazionale ottimale per valutare il campo elettrico.

Continueremo l'analisi di serie temporali della velocità di una particella di test, allo scopo di associare un opportuno processo stocastico (possibilmente un processo di Levy) alle collisioni binarie "soffici" e "dure". Instabilità dell'equazione di Vlasov-Poisson saranno studiate ricorrendo al metodo dei momenti. Il problema completo tridimensionale sarà studiato in dettaglio, per determinare se il rilassamento all'equilibrio segue la stessa legge che per il caso bidimensionale. Questi studi sono fortemente motivati dalla realizzazione sperimentale di anelli di accumulazione ad alta intensità al GSI (progetto FAIR), nell'ambito di una collaborazione di lunga data con questo laboratorio.

-Risultati

Rilassamento a distribuzioni di particelle canoniche/microcanoniche: confronto tra 2D e 3D. Descrizione dettagliata delle instabilità dell'equazione di Vlasov Poisson. Confronto con esperimenti con anelli di accumulazione di alta intensità al GSI.
