

Settore MAT07 - Fisica Matematica

Fulvio Bisi¹

¹Dipartimento di Matematica - Università di Pavia

Presentazione LM 2018 - 24 maggio

Outline

- 1 Fisica Matematica
- 2 Sottosettori
- 3 Gruppi di ricerca interni
 - Equaz. Cinetiche
 - Teorie di campo
 - SMMM
- 4 Tesi di laurea

Fisica Matematica

“Applicazioni della matematica ai problemi della fisica e dello sviluppo di metodi matematici adatti alla formulazione di teorie fisiche e alle relative applicazioni” (**Journal of Mathematical Physics**)

Ambiti ‘tradizionali’

- Matematica Applicata: modelli e metodi matematici adatti alla trattazione dei fenomeni fisici.
- Fisica Teorica: formulazione rigorosa dei fondamenti delle teorie fisiche.

I metodi utilizzati, spesso in combinazioni nuove, provengono da tutte le discipline matematiche.

- **meccanica classica** con approcci matematici avanzati (es. geometria differenziale, teoria biforcazioni): meccanica razionale o analitica, lagrangiana, hamiltoniana. . .
- **teoria dei sistemi dinamici non lineari**: sistemi caotici e i sistemi hamiltoniani completamente integrabili, inclusa teoria delle perturbazioni, anche infinito-dimensionali;
- **meccanica statistica**: equazione di Boltzmann, teoria delle transizioni di fase;
- **teorie dei sistemi continui**: meccanica dei continui, fluidodinamica, termodinamica e all'elettromagnetismo di sistemi continui (incluso cristalli liquidi); teoria dei campi in generale;

Corsi: Teoria dei sistemi dinamici (A.Marzuoli), Fenomeni di diffusione e trasporto (F. Bisi - F. Salvarani)

- **teoria quantistica dei campi** con particolare riferimento alla costruzione di modelli;
- **meccanica quantistica** (operatore di Schrödinger): con i collegamenti a quell'insieme di discipline che spesso vengono indicate come fisica dello stato solido;
- **teorie relativistiche del campo gravitazionale**: incluse le applicazioni alla cosmologia e i tentativi di costruire una teoria quantistica della gravità.

(cf. corsi offerti nell'ambito della LM in Fisica).

Gruppi di ricerca

- 1 Equazioni cinetiche e idrodinamica di sistemi collisionali complessi (Giuseppe Toscani, Ada Pulvirenti, Francesco Salvarani)
- 2 Metodi geometrici e algebrici nelle teorie di campo e nella scienza dei dati (Annalisa Marzuoli)
- 3 Modelli matematici per la materia soffice e applicazioni (SMMM) (Epifanio G. Virga, Fulvio Bisi, Andrea Pedrini)

Equazioni cinetiche e idrodinamica di sistemi collisionali complessi

Funzione di distribuzione $f(\mathbf{x}, \mathbf{v}, t)$

$$\left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_{\text{diff}} + \mathbf{v} \cdot \nabla_{\mathbf{x}} f + \frac{\mathbf{F}}{m} \cdot \nabla_{\mathbf{v}} f = 0$$

Problemi teorici e numerici connessi alla teoria cinetica dei gas rarefatti, la teoria cinetica di sistemi dissipativi con applicazione ai gas granulari; problemi asintotici derivanti dal passaggio da modelli cinetici a modelli macroscopici nel riscaldamento iperbolico e diffusivo; problemi asintotici relativi alle collisioni radenti, e passaggio ad equazioni di tipo Fokker-Planck; comportamento asintotico di equazioni di diffusione non lineare mediante metodi di entropia

Applicazioni della teoria cinetica allo studio di sistemi multiagente, con particolare riguardo ai sistemi socio-economici e biologici. In questo ambito si sono introdotti e studiati modelli per la distribuzione della ricchezza e per la formazione di opinione che si intendono sviluppare ulteriormente nel prossimo futuro.

Metodi geometrici e algebrici nelle teorie di campo e nella scienza dei dati

Utilizzando metodi geometrici e algebrici (dalla geometria differenziale e topologia geometrica alla teoria dei gruppi di Lie) si studiano diverse problematiche relative a sistemi quantistici hamiltoniani a molti corpi e a teorie di campo di natura geometrica

Nello studio di varie tipologie di sistemi complessi risulta opportuno utilizzare la teoria dei grafi, dove i nodi della rete rappresentano unità elementari e i lati traducono le connessioni (di tipo strutturale o funzionale) tra unità. Lo studio dei 'big data' è uno dei campi di ricerca interdisciplinari più attuali, ed è praticato utilizzando tecniche di vario tipo tra cui però i metodi numerici hanno un ruolo predominante. Negli ultimi anni sono stati introdotti metodi di topologia algebrica e di geometria combinatoria per caratterizzare proprietà 'globali' degli spazi di dati, quali la valutazione di specifici invarianti topologici nella categoria dei complessi simpliciali.

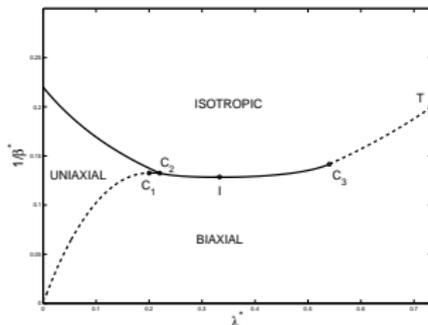
Modelli matematici per la materia soffice e applicazioni

Soft Matter Mathematical Modelling (SMMM): proporre, analizzare e convalidare modelli per diversi tipi di 'materia soffice', per esempio

- cristalli liquidi (display e schermi, nanoshells)
- membrane e sistemi biologici (nanomedicina)
- schiume (schiume metalliche per assorbimento degli urti)

Risultati

- nuove fasi per cristalli liquidi; es.: nematici biassici, con predizione di un punto tricritico nel diagramma di fase confermato sperimentalmente (analisi biforcata, anche numerica).



- Determinazione delle classi di simmetria per il tensore d'ordine nematico (all'ordine 2 di rappresentazione).

- nematic shells: mesofasi di cristalli liquidi ordinate su superficie chiuse (con possibili applicazioni alla nanomedicina);
- interazioni fra proteine mediate da una membrana biologica;
- modelli per il moto di batteri;
- assemblamento di nanoparticelle;
- nematoacustica (interazione fra mesofasi nematiche e onde ultrasoniche).

Sviluppi

- Twist-bend nematics: fase nematica di recente descrizione e osservazione (meno recente. . .). Richiede molecole curve, e presenta una struttura peculiare (heliconical), con scala delle lunghezze che si estende per poche molecole. Potenziali applicazioni innovative (costante elastica quasi nulla, 'antidoto' alla dissipazione. Serve un modello microscopico che dia origine a una struttura chirale con molecole non chirali.
- Teranostica: terapia+diagnostica. Adesione di nanoparticelle a cellule tumorali, attivate da campo magnetico.
- Fasi di nematici toroidali, mediante analisi biforcative e 'deep learning'.
- Studio del ruolo dell'interazione proteina-proteina nell'ambito del morbo di Alzheimer: modello di aggregazione.

Argomenti di tesi

F.Salvarani (`francesco.salvarani@unipv.it`):

- Studio di fenomeni diffusivi in miscele gassose.
- Modellizzazione matematica di politiche vaccinali.

A.Marzuoli (`annalisa.marzuoli@unipv.it`):

- Sistemi a molti corpi quantistici.
- Teorie di campo topologiche.

F. Bisi (`fulvio.bisi@unipv.it`):

- Determinazione delle classi di simmetria per tensori d'ordine orientazionali.
- Analisi biforcata numerica di nematici toroidali.