

## Fisica della Materia - Programmi

### **Complementi di Meccanica Statistica - Dott. G. Salina**

Sistemi statistici disordinati: vetri di spin, reti neurali e teoria dell'ottimizzazione. Metodo delle repliche. Cenni sugli algoritmi numerici per la simulazione di sistemi disordinati e frustrati.

### **Complementi di Struttura della Materia (ex STRUTTURA DELLA MATERIA I)**

Prof. M. De Crescenzi

Fisica degli Atomi: Teoria di Schroedinger della meccanica quantistica, elementi di matrice, operatori differenziali, valori di aspettazione, autofunzioni ed autovalori. Soluzioni indipendenti dal tempo dell'equazione di Schroedinger, elettrone libero, potenziale a gradino, potenziale a barriera, buca di potenziale quadrata finita ed infinita. Oscillatore armonico. Atomi ad un elettrone, densità di probabilità, regole di selezione, momenti angolari e spin-orbita. Atomi ad un elettrone, densità di probabilità, regole di selezione, momenti angolari e spin dell'elettrone, esperimento di Stern e Gerlach, interazione spin-orbita. Atomi a multielettroni, atomo di elio. Spettri a raggi X degli atomi e legge di Moseley. Teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo e dipendenti dal tempo. Interazione radiazione-atomo. Elettrone in un campo elettrico e magnetico. Effetto laser. Fisica dello Stato Solido: Particelle in un potenziale periodico, teorema di Bloch, modello di Kronig-Penney per la struttura a bande dei solidi, modello dell'elettrone fortemente legato. Concetto di buca, livello di Fermi, metalli ed isolanti. Concetto di schermo e particelle indipendenti. Fononi, interazione elettrone-fonone. Conducibilità nei solidi. Semiconduttori. Giunzione p-n, transistor, dispositivi LED, cella solare, laser a semiconduttore. Effetto Hall quantistico. Superconduttività. Magnetismo. Spettroscopie per lo studio dei solidi e delle loro superfici: fotoemissione, diffrazione elettronica, energy loss, effetto tunnel. Effetti di bassa dimensionalità: superreticoli. Il corso terminerà con una dimostrazione pratica eseguita in laboratorio della diffrazione di una superficie cristallina e delle immagini ottenute con l'effetto tunnel per visualizzare la posizione degli atomi in un reticolo cristallino.

### **Elettronica I - Dott. A. Florio**

(Circuiti e sistemi analogici )

Reti a parametri concentrati - Risposte nel dominio del tempo, della frequenza e della frequenza complessa (Trasformata di Laplace e sue applicazioni) - Teoremi sulle reti - La controreazione - Amplificatori differenziali e operazionali - Applicazioni lineari e non lineari

### **Fisica Biologica I - Prof.ssa S. Morante**

Introduzione: nuove prospettive nell'era post-genomica. L'origine della vita e l'evoluzione per selezione. La cellula: procarioti ed eucarioti. Le macromolecole polimeriche: sequenze e loro

contenuto informativo. Gli acidi nucleici: struttura e funzione. Metodi per il sequenziamento e la mappatura del DNA. Banche dati. Il DNA e i supercomputers: gigabytes e nanotecnologie. La trascrizione e la sua regolazione. La sintesi proteica. Le proteine: struttura e funzione. Livelli strutturali e contenuto informativo in proteine e acidi nucleici. Cinetiche di processi folding-unfolding. Interazioni idrofobiche: contributo unitario e critico all'entropia di mescolamento. Le membrane cellulari: doppi strati, micelle e liposomi.

### **Fisica Biologica 2 - Prof.ssa S. Morante**

Introduzione alle principali tecniche spettroscopiche. Il contenuto informativo nel DNA: quantum genetics; legge di Zipf; pressione selettiva e frequenze di occorrenza (teorema di Bayes). Energia libera e folding. Metodi di analisi statistica delle sequenze (Dot-Plot; Needleman-Wunsch; etc.) Simulazioni numeriche: Dinamica Molecolare (MD), Dinamica di Langevin, Monte Carlo e Ibrido Monte Carlo. MD ab initio (Car-Parrinello). Equazioni diffusive: reazioni di regolazione e metaboliche della cellula.

### **Fisica dei Dispositivi a Stato Solido - Prof. M. Fanfoni**

Richiami di meccanica statistica classica, semiclassica, quantistica. Condizioni di equilibrio termodinamico. Materiali conduttori, semiconduttori, isolanti. Il drogaggio dei semiconduttori. Bande di energia, contatti tra metalli. La giunzione pn. Equazione del trasporto di Boltzman. Condizioni di equilibrio in giunzioni pn. Dispositivi fotovoltaici. Diodi Shottky, tunnel, impatt. Il transistor bipolare. I dispositivi MIS, MOS, MES. Dispositivi: JFET, MOSFET, MESFET. Emettitori di luce (LED e Laser).

### **Fisica dei Plasmi - Dott. R. Gatto**

Introduzione alla fisica dei plasmi. Parametri fondamentali dei plasmi. La descrizione cinetica dei plasmi. Equazione di Klimontovich, equazione di Boltzmann, equazione di Vlasov e di Fokker Planck. Moto delle particelle cariche nei campi magnetici. Moto in un campo elettrico e magnetico uniformi. Moto in campi magnetici non uniformi. Moti di deriva. La descrizione a fluido dei plasmi. Coefficienti di trasporto. Onde nei plasmi. Relazione di dispersione. Onde nei plasmi freddi. Effetti termici. Effetto di un campo magnetico di equilibrio. Onde elettrostatiche. Propagazione in direzione parallela e perpendicolare al campo magnetico. I cut-off e le risonanze principali. Le instabilità dei plasmi. Instabilità magnetoidrodinamiche. Instabilità elettrostatiche su piccola scala di lunghezza. La descrizione della turbolenza nei plasmi. La descrizione cinetica dei plasmi. Smorzamento di Landau. Radiazione dei plasmi: bremsstrahlung e radiazione di ciclotrone. Fusione termonucleare. Ignizione, criterio di Lawson. Confinamento magnetico e inerziale. Equilibrio dei plasmi termonucleari a confinamento magnetico. Riscaldamento dei plasmi termonucleari. Tecniche di misura dei parametri principali dei plasmi.

### **Fisica dei Sistemi Complessi - Prof. L. Biferale**

Fondamenti teorici della meccanica statistica classica: Introduzioni alla meccanica statistica classica. Il problema ergodico, funzioni di partizione e misura di probabilità. Il teorema del limite centrale e

misura di Gibbs. Sistemi dinamici e teoria delle biforcazioni: Sistemi hamiltoniani a pochi gradi di libertà. Sistemi dissipativi. Teoria della stabilità alla Lyapunov. Sistemi dinamici a infiniti gradi di libertà. Solitoni e soluzioni localizzate. Il teorema della varietà centrale in infinite dimensioni. L'equazione di Landau-Ginzburg con parametri complessi. Equazioni di Stokers e cenni sulla teoria della turbolenza sviluppata.

### **Fisica dei Sistemi Semiconduttori a Bassa Dimensionalità - Prof. W. Richter**

Modulo 1: Effetti quantistici del gas bidimensionale di elettroni (2DEG). Confinamento in 0,1 e 2 D. Eterostrutture. Strutture a layer strained. Buche e barriere quantiche. Fili e punti quantici. Confinamento ottico. Buche quantiche in eterostrutture. Struttura a bande di strati a modulazione di drogaggio. Ingegneria delle bande. Gas 2DEG in campo magnetico. Effetto Hall quantistico.Modulo 2: Metodi di crescita di quantum well e dots (MBE-MOCVD...) Caratterizzazione delle nanostrutture: tecniche diffrattive, ottiche e di microscopia tunnel. Laser a quantum well. Transistor ad alta mobilità. Transistor a singolo elettrone

### **Fisica dei Solidi I - Prof. M. Casalboni**

Reticoli spaziali e reciproci. Autostati di un potenziale periodico. Teorema di Bloch. Bande elettroniche e densità di stati. Principali metodi di calcolo delle bande. Struttura a bande dei semiconduttori più comuni. Dinamica degli elettroni di Bloch e proprietà di trasporto. Conducibilità dei metalli e dei semiconduttori. Semiconduttori intrinseci ed estrinseci. Impurezze e drogaggio. Giunzioni p-n. Superfici di Fermi e loro misura. Vibrazioni reticolari e fononi. Proprietà termiche di solidi. Cristalli ionici.

### **Fisica dei Solidi 2 - Prof. A. Balzarotti**

Metalli-Teoria classica di Sommerfeld del gas di elettroni liberi- Teoria quantistica del gellio- Stato fondamentale del gellio nell'approssimazione di Hartree-Fock- Termine di scambio-Approssimazione locale di Slater. Schermo-Funzione dielettrica -Modelli di Thomas-Fermi e di Lindhard -Schermo statico e dinamico- Plasmoni nei metalli-Funzione dielettrica longitudinale - Perdita di energia- Dinamica degli elettroni di Bloch e proprietà di trasporto- Dinamica semiclassica in campo magnetico- Effetto Hall e magnetoresistenza- Gas bidimensionale di elettroni -Livelli di Landau-Effetto Hall quantistico-Risposta magnetica del gas di elettroni liberi- Paramagnetismo di Pauli-Diamagnetismo di Landau- Superconduttività-Fenomenologia-Coppie di Cooper- Teoria BCS e applicazioni.

### **Fisica del Nucleo - Prof. C. Schaerf**

Modello a strati: il potenziale di oscillatore armonico, l'interazione spin-orbita e le interazioni residue con un accenno agli effetti collettivi. Deflessione elastica ed anelastica degli elettroni su nuclei e nucleoni. Deflessione profondamente anelastica e funzioni di struttura dei nucleoni: evidenza dei partoni; variabili di scala e modello a quark. La tecnica dei diagrammi di Feynman per il calcolo delle sezioni d'urto nelle elettrodinamica quantistica (QED). Momenti elettromagnetici dei nuclei; risonanze nucleari magnetiche. Problemi e prospettive dell'energia nucleare: fissione e fusione. Interazione nucleone-nucleone.

## **Fisica delle Basse Temperature e Superconduttività - Prof. M. Cirillo**

Modulo 1: Superfluidità. Modello a due fluidi. Condensato ed eccitazioni elementari. Quasiparticelle. Modello di Landau. Fononi e rotoni. Fluidodinamica dell'elio superfluido. Superconduttività BCS. Coppie di Cooper. Gap di energia. Transizione di fase del II ordine. Equazioni di London-Pippard. Teoria di Ginzburg-Landau. Superconduttori di Tipo I e II. Tunnel di coppie. Effetto Josephson. Squid. Superconduttori ad alta temperatura. Modulo 2: Tecnologie e strumentazioni criogeniche. Macchine termiche e frigorifiche. Raffreddamento isoentropico e isoentalpico. Effetto Joule-Thompson. Cryocoolers. Liquidi criogenici e diagrammi di fase. Criostati ad elio. Sonde di livello. Termometri. Refrigeratore a diluizione  $^3\text{He}$  e  $^4\text{He}$ . Resistenza di Kapitza. Smagnetizzazione adiabatica ionica e nucleare. Effetto Pomeranchuk.

## **Fisica delle Particelle Elementari I - Prof. G. Matthiae**

Interazioni adroniche e modello a quark. "Flavour" e colore. Interazioni elettromagnetiche. L'equazione di Dirac e le regole di Feynman. Produzione di coppie di muoni nelle collisioni elettrone-positrone. Il Lamb shift e il momento magnetico dei leptoni. Interazioni deboli. La teoria V-A. Angolo di Cabibbo. Decadimento dei mesoni K neutri. Violazione di CP. La matrice di CKM. Scattering anelastico di elettroni e neutrini. Modello a partoni. Funzioni di struttura. Unificazione elettrodebole.

## **Fisica delle Superfici - Prof.ssa F. Patella**

Termodinamica delle superfici. Energia libera. Adsorbimento e diffusione in superficie. Elementi di teoria della nucleazione. Morfologia e struttura atomica. Microscopia a scansione. Scattering elastico ed anelastico di elettroni. Stati elettronici e metodi per lo studio delle proprietà elettroniche di superficie. Tecniche di crescita epitassiale.

## **Fisica e Spettroscopia dei Sistemi Disordinati - Prof.ssa C. Andreani**

1. Richiami di Meccanica Statistica. 2. Le proprietà di equilibrio di un sistema a molti corpi interagenti. 3. La funzione di partizione, collegamento fra Meccanica Statistica e Termodinamica. 4. Generalità sullo stato liquido. Liquidi classici: potenziale di interazione. Liquidi quantistici. Liquidi semplici e molecolari. 5. Formalismo di Van Hove. 6. Funzioni di distribuzione di un liquido classico. 7. La struttura dei liquidi molecolari. Metodi d'indagine sperimentali. Diffusione di raggi X e neutroni. Ruolo della funzione di distribuzione a coppie  $g(r)$ . Metodi teorici per l'analisi della struttura. Equazioni integrali per la  $g(r)$ . Il sistema a "sfere dure" come sistema di riferimento. 8. La dinamica dei liquidi molecolari e quantistici. Metodo di indagine sperimentale: diffusione di neutroni termici ed epitermici. Metodi teorici per l'analisi della dinamica.

Testi consigliati: J.P. HANSEN, J.R. MCDONALD: Theory of Simple Liquids, Academic Press, 1990. BALUCANI, M. ZOPPI: Dynamics of Liquid State, Oxford University Press 1996

### **Fisica Medica - Prof. L. Narici**

Il nucleo atomico e lo spettro di radiazione. Interazione tra radiazione e materia. Effetti biologici delle radiazioni. Dosimetria: strumenti e tecniche di misure di radiazione. Dose assorbita, curve isodose. Radiobiologia e protezione dalle radiazioni. Uso dei radioisotopi nelle immagini mediche. Tomografia ad emissione di positroni (PET). Tomografia computerizzata a singola emissione fotonica (SPECT).

### **Fisica Teorica I - Prof. E. Pace**

Problema di Dirichlet e di Neumann. Eq. di Maxwell. Potenziali ritardati. Tensore degli sforzi di Maxwell. Onde e.m. Teoria della relatività ristretta. Gruppo e generatori di Lorentz. Covarianza della elettrodinamica. Lagrangiana per una particella carica e per il campo e.m. Conservazione di energia, impulso e momento ang. del campo e.m. Tensore degli sforzi. Funzioni di Green. Potenziali di Lienard-Wiechert. Radiazione e.m.

### **Fisica Teorica 2 - Dott. A. Vladikas**

Relatività ristretta. Quantizzazione canonica: campi scalari e spinoriali, campo elettromagnetico. Diagrammi di Feynman per la QED. Sezioni d'urto.

### **Laboratorio di Metodi Computazionali I - Dott. V. Malvestuto**

Applicazioni tecniche di simulazione numerica, analisi dati e tecniche di rappresentazione grafica. Generazione numeri casuali e simulated annealing. Tecniche di programmazione parallela.

### **Meccanica Quantistica 2 - Prof. E. Pace**

Postulati della meccanica quantistica. Rappresentazioni di Schroedinger e di Heisenberg. Propagatori. Integrali di Feynman. Oscillatore tridimensionale. Modi normali. Molecole biatomiche. Born-Oppenheimer. Spettri Raman. Metodi variazionali. Hartree-Fock. Diffusione da potenziale. Stati stazionari. Pacchetti d'onda. Sezione d'urto. Onde parziali. Teorema ottico. Equazione di Lippmann-Schwinger. Diffusione di particelle identiche. Serie di Born. Proprietà analitiche delle ampiezze di scattering. Risonanze. Breit-Wigner. Teorema di Levinson. Poli di Regge. Operatori di Moeller. Equazione di Klein-Gordon. Antiparticelle. Interazione di una particella di spin zero con il campo elettromagnetico. Equazione di Dirac. Limite non relativistico. Trasformazioni di Lorentz infinitesime. Corrente conservata. Covarianti bilineari. Particelle di Dirac in campo esterno. Coniugazione di carica. Equazione di Weyl.

### **Meccanica Statistica 2 - Prof.ssa R. Marra**

Modello di Ising. Teoria di campo medio, argomento di Peierls, transizioni di fase. Equazioni di Boltzmann, limite idrodinamico.

## **Metodi Matematici della Fisica 2 - Supplenza**

Equazioni differenziali ordinarie. Funzioni di Green. Equazioni integrali. Problemi di Sturm-Liouville. Serie e trasformate di Fourier. Trasformata di Laplace. Sviluppi asintotici. Funzioni speciali. Equazioni differenziali alle derivate parziali. ([Link](#))

## **Metodi Sperimentali per lo Studio della Materia Condensata - Prof. I. Davoli**

Descrizione dei principi di base dei metodi e delle tecniche. Tecniche ottiche: spettroscopia di assorbimento, Spettroscopia Raman, Spettroscopia di modulazione, Spettroscopia a trasformata di Fourier, Spettroscopia con luce di sincrotrone. Tecniche elettroniche: fotoemissione integrata e risolta in angolo. Fotoemissione inversa. XPS. Spettroscopia Auger. Spettroscopia di perdita di energia. Spettroscopia di risonanza: NMR e ESR. Spettroscopia di neutroni epitermici. Spettroscopia Mossbauer. Microscopia ad effetto tunnel. Microscopia a forza atomica.

## **Relatività e Gravitazione - Prof. M. Bruni**

Il principio di equivalenza. Campi gravitazionali deboli. Moto geodetico. Significato fisico della metrica. Arrossamento delle righe spettrali. Forze inerziali. Tensori. Derivazione covariante. Il tensore di Riemann-Christoffel. Equazione di campo nel vuoto. Il tensore energia-impulso. Equazione di campo in presenza di materia. Leggi di conservazione. La soluzione di Schwarzschild. Coordinate isotrope. Moto planetario. Deflessione della luce. L'espansione di Hubble. La radiazione cosmica di fondo. La metrica di Friedman-Robertson-Walker. Nucleosintesi primordiale degli elementi leggeri. Il problema della distanza in Cosmologia. Il modello standard in cosmologia e gli scenari inflazionari.

## **Spettroscopia - Prof.ssa C. Andreani**

Interazione Radiazione Materia. Matrice di scattering  $S$ . Teoria della risposta lineare. Sezioni d'urto e funzioni di correlazione. Interazione radiazione materia in regime di risposta lineare. Operatore di interazione radiazione materia. Approssimazione di dipolo. Sviluppo perturbativo al primo ordine in  $S$ : assorbimento; emissione stimolata; emissione spontanea. Il laser. Sviluppo perturbativo al secondo ordine in  $S$ : scattering della luce. Tecniche sperimentali: Infrarosso. Scattering Raman. Scattering di neutroni.

Durante il corso saranno distribuite dispense a cura del docente.

## **Tecniche Sperimentali di Fisica Nucleare e Subnucleare - Prof.ssa A. Di Ciaccio**

I problemi sperimentali aperti nell'ambito del Modello Standard. Futuri colliders. Rivelatori di particelle di ultima generazione. Apparati complessi nella fisica delle interazioni pp, ee, ione-ione: esperimenti LEP, BABAR, KLOE, ATLAS, CMS, LHCb, ALICE. Ricerche di fisica senza acceleratori: oscillazioni di neutrino, ricerca di antimateria, ricerca di gamma burst. Il metodo Montecarlo: fondamenti della tecnica MonteCarlo, generatori di processi di fisica, simulazioni di processi elettromagnetici e forti. Un esempio: GEANT4.

### **Teoria dei Gruppi** - Dott. Y. Stanev

Proprietà dei gruppi discreti. Gruppi continui e algebre di Lie. Classificazione di Cartan. Teoria delle rappresentazioni. Gruppi compatti. Cosets. Gruppi di Lorentz e Poincaré'.

### **Teoria dei Sistemi a Molti Corpi** - Prof. G.C. Rossi

Elementi di Meccanica Statistica. Sistemi fermionici: l'approssimazione di Born-Oppenheimer. Il gas di Fermi. Il metodo di Hartree-Fock. La teoria del funzionale densità. Dinamica Molecolare e metodo di Car-Parrinello. Integrale Funzionale. Passaggio dalla metrica Minkowskiana a quella Euclidea. Il legame con la Meccanica Statistica Classica. Metodi numerici per il calcolo della funzione di partizione.

### **Teoria dei Solidi** - Prof. M. Cini

Teoria relativistica degli atomi, con effetti di elettrodinamica quantistica (processi di secondo ordine, polarizzazione del vuoto e potenziale di Uehling.) Teoria della simmetria con applicazioni: Gruppi discreti, Gruppi spaziali e stati elettronici nei solidi, Gruppi continui. Teoria dei molti corpi: Risonanze, equazione di Dyson, correzioni di self-energy, Formalismo di Keldysh. Metodi ricorsivi, Ampiezze di eccitazione. Gruppo di Rinormalizzazione. Fase di Berry. Polaroni. Modello di Hubbard, Magnetismo, Superconduttività.

### **Teoria delle Particelle Elementari** - Prof. R. Petronzio

Gruppo di rinormalizzazione. Lagrangiane chirali. Modello standard. QCD perturbativa. Teorie efficaci dei quark pesanti. Modello supersimmetrico minimale. Introduzione alle teorie di unificazione.

### **Teoria Quantistica della Materia** - Prof. R. Del Sole

Sistemi a molti elettroni- Seconda quantizzazione- Funzioni di Green a  $T=0$  e a temperatura finita. Diagrammi di Feynman ed equazione di Dyson. Self energia. Gas elettronico omogeneo. Energia di correlazione. Teoria della risposta lineare. Teoria del funzionale densità. Teoria delle bande nei solidi. Proprietà ottiche. Eccitoni

### **Termodinamica dei Processi Irreversibili** - Dott. G. Consolini

Sistemi termodinamici all'equilibrio: richiami di termodinamica dell'equilibrio, approccio di Carthéodory e di Gibbs, principi dell'equilibrio estremo e del massimo lavoro. Sistemi termodinamici non all'equilibrio: leggi di conservazione, legge dell'entropia e del bilancio dell'entropia, equazioni fenomenologiche e relazioni di reciprocità di Onsager, stati stazionari, fondamento statistico, teorema di fluttuazione e dissipazione. Sistemi chimici: reazioni chimiche e fenomeni di rilassamento, reazioni chimiche accoppiate, reazioni unimolecolari, principio dettagliato, equazione di Volterra-Lotka, reazioni chimiche oscillanti, correlazioni statistiche nella catalisi enzimatica.

## **Turbolenza - Dott. R. Gatto**

Equazioni di Navier-Stokes. Instabilità e transizione alla turbolenza. Teoria di Kolmogorov. Intermittenza e multifrattalità. Dinamica di uno scalare passivo. Magneto-idrodinamica ed effetto Dinamo.