

CURRICULUM “FISICA DELLA DELLA MATERIA”

Pisa - 17 Maggio 2017

Physics and Astronomy Classification Scheme (PACS)

American Institute of Physics

Ten sections of PACS, and supplement.

00—General

- [01. Communication, education, history, and philosophy](#)
- [02. Mathematical methods in physics](#)
- [03. Quantum mechanics, field theories, and special relativity](#)
- [04. General relativity and gravitation](#)
- [05. Statistical physics, thermodynamics, and nonlinear dynamical systems](#)
- [06. Metrology, measurements, and laboratory procedures](#)
- [07. Instruments, apparatus, and components common to several branches of physics and astronomy](#)

10—The Physics of Elementary Particles and Fields

- [11. General theory of fields and particles](#)
- [12. Specific theories and interaction models; particle systematics](#)
- [13. Specific reactions and phenomenology](#)
- [14. Properties of specific particles](#)

20—Nuclear Physics

- [21. Nuclear structure](#)
- [23. Radioactive decay and in-beam spectroscopy](#)
- [24. Nuclear reactions: general](#)
- [25. Nuclear reactions: specific reactions](#)
- [26. Nuclear astrophysics](#)
- [27. Properties of specific nuclei listed by mass ranges](#)
- [28. Nuclear engineering and nuclear power studies](#)
- [29. Experimental methods and instrumentation for elementary-particle and nuclear physics](#)

30—Atomic and Molecular Physics

- [31. Electronic structure of atoms and molecules: theory](#)
- [32. Atomic properties and interactions with photons](#)
- [33. Molecular properties and interactions with photons](#)
- [34. Atomic and molecular collision processes and interactions](#)
- [36. Exotic atoms and molecules; macromolecules; clusters](#)
- [37. Mechanical control of atoms, molecules, and ions](#)

40—Electromagnetism, Optics, Acoustics, Heat Transfer, Classical Mechanics, and Fluid Dynamics

- [41. Electromagnetism; electron and ion optics](#)
- [42. Optics](#)
- [43. Acoustics](#)
- [44. Heat transfer](#)
- [45. Classical mechanics of discrete systems](#)
- [46. Continuum mechanics of solids](#)
- [47. Fluid dynamics](#)

50—Physics of Gases, Plasmas, and Electric Discharges

- [51. Physics of gases](#)
- [52. Physics of plasmas and electric discharges](#)

60—Condensed Matter: Structural, Mechanical and Thermal Properties

- [61. Structure of solids and liquids; crystallography](#)
- [62. Mechanical and acoustical properties of condensed matter](#)
- [63. Lattice dynamics](#)
- [64. Equations of state, phase equilibria, and phase transitions](#)
- [65. Thermal properties of condensed matter](#)
- [66. Nonelectronic transport properties of condensed matter](#)
- [67. Quantum fluids and solids](#)
- [68. Surfaces and interfaces; thin films and nanosystems](#)

70—Condensed Matter: Electronic Structure, Electrical, Magnetic, and Optical Properties

- 71. [Electronic structure of bulk materials](#)
- 72. [Electronic transport in condensed matter](#)
- 73. [Electronic structure and electrical properties of surfaces, interfaces, thin films, and low-dimensional structures](#)
- 74. [Superconductivity](#)
- 75. [Magnetic properties and materials](#)
- 76. [Magnetic resonances and relaxations in condensed matter, Mössbauer effect](#)
- 77. [Dielectrics, piezoelectrics, and ferroelectrics and their properties](#)
- 78. [Optical properties, condensed-matter spectroscopy and other interactions of radiation and particles with condensed matter](#)
- 79. [Electron and ion emission by liquids and solids; impact phenomena](#)

80—Interdisciplinary Physics and Related Areas of Science and Technology

- 81. [Materials science](#)
- 82. [Physical chemistry and chemical physics](#)
- 83. [Rheology](#)
- 84. [Electronics; radiowave and microwave technology; direct energy conversion and storage](#)
- 85. [Electronic and magnetic devices; microelectronics](#)
- 87. [Biological and medical physics](#)
- 88. [Renewable energy resources and applications](#)
- 89. [Other areas of applied and interdisciplinary physics](#)

90—Geophysics, Astronomy, and Astrophysics

- 91. [Solid Earth physics](#)
- 92. [Hydrospheric and atmospheric geophysics](#)
- 93. [Geophysical observations, instrumentation, and techniques](#)
- 94. [Physics of the ionosphere and magnetosphere](#)
- 95. [Fundamental astronomy and astrophysics; instrumentation, techniques, and astronomical observations](#)
- 96. [Solar system; planetology](#)
- 97. [Stars](#)
- 98. [Stellar systems; interstellar medium; galactic and extragalactic objects and systems; the Universe](#)

NANO SUPPLEMENT !!

Nel 20mo secolo, l'enorme evoluzione della **Fisica della Materia** e' testimoniata dal numero di vincitori del **Premio Nobel** in:

- Avanzamento nella conoscenza teorica e sperimentale
- Sviluppo di strumentazione
- Scoperta di nuovi materiali
- Chimica legata alla fisica dei materiali

Dopo la seconda guerra mondiale, **29** Premi Nobel per la Fisica sono stati assegnati alla Fisica della Materia, e a campi ad essa associati, e **8** Premi Nobel per la Chimica sono stati assegnati per soggetti relativi alla Fisica della Materia

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/

M. L. Cohen, Phys. Rev. Lett. 101, 25000 (2008)

Nobel Prizes related to laser/maser principles and developments in optics

1964 [Charles Hard Townes](#), [Nicolay Gennadiyevich Basov](#) and [Aleksandr Mikhailovich Prokhorov](#)

"for fundamental work in the field of quantum electronics, which has led to the construction of oscillators and amplifier based on the [maser-laser principle](#)"

1971 [Dennis Gabor](#) "for his invention and development of the [holographic method](#)"

1981 [Nicolaas Bloembergen](#) and [Arthur Leonard Schawlow](#) "for their contribution to the development of [laser spectroscopy](#)"

1997 [Steven Chu](#), [Claude Cohen-Tannoudji](#) and [William D. Phillips](#) "for development of methods to [cool and trap atoms](#) with laser light"

2005 [Roy J. Glauber](#) "for his contribution to the quantum theory of [optical coherence](#)"

2009 [Charles Kuen Kao](#) "for groundbreaking achievements concerning the [transmission of light in fibers](#) for optical communication"

[Willard S. Boyle](#) and [George E. Smith](#) "for the invention of an imaging semiconductor circuit - the [CCD sensors](#)"

2012 [Serge Haroche](#) and [David J. Wineland](#) "for ground-breaking experimental methods that enable [measuring and manipulation of individual quantum systems](#)"

Nobel Prizes related to tunneling and electron microscopy

1953 Frits (Frederik) Zernike

"for his demonstration of the phase contrast method, especially for his invention of the phase contrast microscope"

1986 Ernst Ruska

"for his fundamental work in electron optics, and for the design of the first electron microscopy

Nobel Prizes related to developments in device applications

1952 Felix Bloch and Edward Mills Purcell

"for their development of new methods for nuclear magnetic precision measurements and discoveries in connection therewith"

1956 William Bradford Shockley, John Bardeen and Walter Houser Brattain "for their researches on semiconductors and their discovery of the transistor effect"

1973 Leo Esaki and Ivar Giaever "for their experimental discoveries regarding tunneling phenomena in semiconductors and superconductors, respectively"

2000 Zhores I. Alferov and Herbert Kroemer "for developing semiconductor heterostructures used in high-speed opto-electronics" and **Jack S. Kilby** "for his part in the invention of the integrated circuit"

2007 Albert Fert and Peter Gruenberg

"for the discovery of Giant Magnetoresistance"

2009 Charles Kuen Kao, and Willard S. Boyle "for groundbreaking achievements concerning the transmission of light in fibers for optical communication" **George E. Smith** "for the invention of an imaging semiconductor circuit - the CCD sensor"

Nobel Prizes related to advances in superconductivity and the quantum Hall effects

1972 John Bardeen, Leon Neil Cooper and John Robert Schrieffer

"for their jointly developed theory of superconductivity, usually called the BCS-theory"

1973 Leo Esaki and Ivar Giaever "for their experimental discoveries regarding tunneling phenomena in semiconductors and superconductors, respectively"

1985 Klaus von Klitzing "for the discovery of the quantized Hall effect"

1987 J. Georg Bednorz and K. Alexander Mueller

"for their important break-through in the discovery of superconductivity in ceramic materials"

1998 Robert B. Laughlin, Horst L. Stoermer and Daniel C. Tsui

"for their discovery of a new form of quantum fluid with fractionally charged excitations"

2003 Alexei A. Abrikosov, Vitaly L. Ginzburg and Anthony J. Leggett

"for pioneering contributions to the theory of superconductors and superfluids"

Nobel Prizes related to low temperature quantum phenomena

1962 Lev Davidovich Landau

"for his pioneering theories for condensed matter, especially liquid helium"

1996 David M. Lee, Douglas D. Osheroff and Robert C. Richardson

"for their discovery of superfluidity in helium-3"

2001 Eric A. Cornell, Wolfgang Ketterle and Carl E. Wieman

"for the achievement of Bose-Einstein condensation in dilute gases of alkali atoms, and for early fundamental studies of the properties of the condensates"

2003 Alexei A. Abrikosov, Vitaly L. Ginzburg and Anthony J. Leggett

"for pioneering contributions to the theory of superconductors and superfluids"

Nobel Prizes related to joint theoretical and experimental discoveries

1998 Robert B. Laughlin, Horst L. Stoermer and Daniel C. Tsui

"for their discovery of a new form of quantum fluid with fractionally charged excitations"

Nobel Prizes related to theorists alone

1962 Lev Davidovich Landau

"for his pioneering theories for condensed matter, especially liquid helium"

1972 John Bardeen, Leon Neil Cooper and John Robert Schrieffer

"for their jointly developed theory of superconductivity, usually called the BCS-theory"

1977 Philip Warren Anderson, Sir Nevill Francis Mott and John Hasbrouck van Vleck

"for their fundamental theoretical investigations of the electronic structure of magnetic and disordered systems"

1982 Kenneth G. Wilson

"for his theory for critical phenomena in connection with phase transitions"

1991 Pierre-Gilles de Gennes

"for discovering that methods developed for studying order phenomena in simple systems can be generalized to more complex forms of matter, in particular to liquid crystals and polymers"

2003 Alexei A. Abrikosov, Vitaly L. Ginzburg and Anthony J. Leggett

"for pioneering contributions to the theory of superconductors and superfluids

2016 David J. Thouless, F. Duncan M. Haldane and J. Michael Kosterlitz

"for theoretical discoveries of topological phase transitions and topological phases of matter"

Nobel Prizes related to theoretical chemistry

1968 Lars Onsager

"for the discovery of the reciprocal relations bearing his name, which are fundamental for the thermodynamics of irreversible processes"

1998 Walter Kohn, "for his development of the density-functional theory"

and John A. Pople "for his development of computational methods in quantum chemistry"

2013 Martin Karplus, Michael Levitt and Arieh Warshel "for the development of multiscale models for complex chemical systems"

Nobel Prizes related to discovery of new materials in physics

1987 J. Georg Bednorz and K. Alexander Mueller

"for their important break-through in the discovery of superconductivity in ceramic materials"

2007 Albert Fert and Peter Gruenberg

"for the discovery of Giant Magnetoresistance"

2010 Andre Geim and Konstantin Novoselov

"for groundbreaking experiments regarding the two-dimensional material graphene"

2014 Isamu Akasaki, Hiroshi Amano and Shuji Nakamura

"for the invention of efficient blue light-emitting diodes which enabled bright and energy-saving white light sources"

Nobel Prizes related to discovery of new materials in chemistry

1996 Robert F. Curl Jr., Sir Harold W. Kroto and Richard E. Smalley

"for their discovery of fullerenes"

2000 Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid and Hideki Shirakawa

"for the discovery and development of conductive polymers"

2011 Dan Shechtman

"for the discovery of quasicrystals"

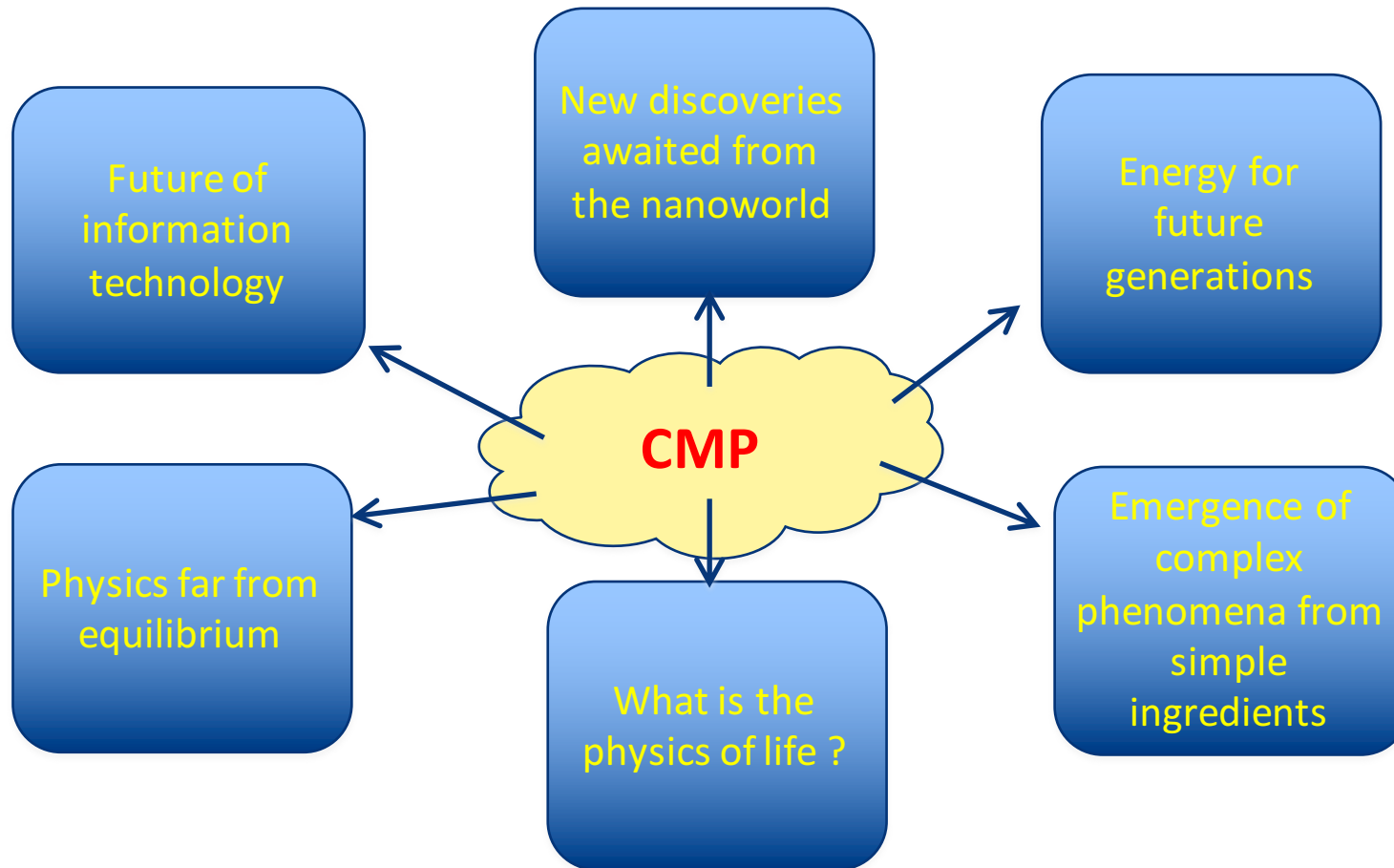
2014 Eric Betzig, Stefan W. Hell and William E. Moerner

"for the development of super-resolved fluorescence microscopy"

2016 Jean-Pierre Sauvage, Sir J. Fraser Stoddart and Bernard L. Feringa

"for the design and synthesis of molecular machines"

Sfide per la Fisica della Materia nel prossimo decennio



Source: National Research Council of the National Academies

La Fisica della Materia e' la scienza del mondo materiale che ci circonda

La sua bellezza e difficolta' originano da tre caratteristiche:

Diversita' **Complessita'** **Interconnessioni**

Nell' avvicinarsi alla Fisica della Materia **due paradigmi** possono essere adottati:

La filosofia **atomistica**, particolarmente adatta per atomi isolati, molecole, struttura elettronica di solidi cristallini.

In questo caso la questione fondamentale e': "quali sono le leggi microscopiche della natura?"

La filosofia dei **fenomeni emergenti** (un termine preso a prestito dalla biologia evolutiva) che si presentano quando si forma un grandissimo numero di particelle.

In questo caso la questione fondamentale e': "quali nuovi principi e leggi emergono passando dal microscopico al macroscopico?"

Entrambi gli approcci **devono** fondersi ed essere adottati assieme per capire il comportamento della Fisica della Materia.

CURRICULUM FISICA DELLA MATERIA

CORSI OBBLIGATORI

TOTALE 21 CFU

FOND. DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA (FIS 03) (TREDICUCCI) 9 CFU

LABORATORIO DI OTTICA QUANTISTICA (FIS 01) (TONELLI) 12 CFU

CORSI IN ALTERNATIVA

TOTALE 33 CFU

(UNO PER CIASCUNA DEI 4 GRUPPI SEGUENTI)

ASTROFISICA A (FIS 05) (PAOLICCHI) 6 CFU

ASTROPARTICELLE A (FIS 05) (BALDINI) 6 CFU

FISICA STATISTICA (FIS 02) (GUADAGNINI) 9 CFU

FISICA TEORICA 1 (FIS 02) (GUADAGNINI) 9 CFU

FISICA DELLO STATO SOLIDO (FIS 03) (GROSSO) 9 CFU

FONDAMENTI DI FISICA DEI PLASMI E FLUIDI (FIS 03) (CALIFANO) 9 CFU

SISTEMI COMPLESSI (FIS 03) (MANNELLA) 9 CFU

SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO (FIS/03) (LEPORINI-CAPACCIOLI) 9 CFU

CORSI A SCELTA**TOTALE 21 CFU**

ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA (FIS 03)	MORUZZI	3 CFU
CHIMICA FISICA MOLECOLARE (CHIM 02)	AMOVILLI	9 CFU
COMPUTAZIONE QUANTISTICA (FIS03)	MORSH	3 CFU
FISICA DEI DISPOSITIVI FOTONICI (FIS 03)	TREDICUCCI-POLINI	9 CFU
FISICA DELLO STATO SOLIDO (FIS 03)	GROSSO	9 CFU
FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE (FIS 03)	LABARDI	3 CFU
FLUIDODINAMICA (FIS03)	CORNOLTI	6 CFU
FOND. DI FISICA DEI PLASMI E FLUIDI (FIS 03)	CALIFANO	9 CFU
FISICA DEI SISTEMI A MOLTI CORPI (FIS/03)	CHIOFALO	9 CFU
LASER A STATO SOLIDO (FIS/03)	TONELLI	3 CFU
METODI DI SIMULAZIONE IN STRUT. MATER. (FIS 03)	TOZZINI	6 CFU
OTTICA ATOMICA (FIS 03)	CIAMPINI	9 CFU
OTTICA QUANTISTICA (FIS 03)	GIULIETTI	9 CFU
PLASMI B (FIS 03)	MACCHI	6 CFU
PLASMI C (FIS 03)	PEGORARO	3 CFU
REOLOGIA (FIS 03)	ANDREOZZI	3 CFU
SISTEMI COMPLESSI (FIS 03)	MANNELLA	9 CFU
SISTEMI COMPLESSI-RETI NEURALI (FIS 03)	CATALDO	9 CFU
SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO (FIS/03)	LEPORINI-CAPACCIOLI	9 CFU
SPETTROSCOPIA DEI NANOMATERIALI (FIS 03)	FUSO-TONCELLI	9 CFU
TEORIA QUANTISTICA DEI SOLIDI (FIS 03)	GROSSO	9 CFU

ALTRO:**PROVA FINALE 45 CFU****GRAN TOTALE 120 CFU**

FOND. DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA
FISICA DELLO STATO SOLIDO
TEORIA QUANTISTICA DEI SOLIDI
FISICA DEI SISTEMI A MOLTI CORPI

LABORATORIO DI OTTICA QUANTISTICA
FISICA DEI DISPOSITIVI FOTONICI
FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCIE
LASER A STATO SOLIDO
REOLOGIA
SPETTROSCOPIA DEI NANOMATERIALI

FOND. DI FISICA DEI PLASMI E FLUIDI
FLUIDODINAMICA
OTTICA QUANTISTICA
PLASMI B
PLASMI C

SISTEMI COMPLESSI
SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO
SISTEMI COMPLESSI-DINAMICHE NEURALI

COMPUTAZIONE QUANTISTICA
OTTICA ATOMICA

ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA
CHIMICA FISICA MOLECOLARE
METODI DI SIMULAZIONE IN STRUT. MATERIA

FOND. DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA
FISICA DELLO STATO SOLIDO
TEORIA QUANTISTICA DEI SOLIDI
FISICA DEI SISTEMI A MOLTI CORPI

FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE-MATERIA (9 cfu)

Tredicucci/Ciampini

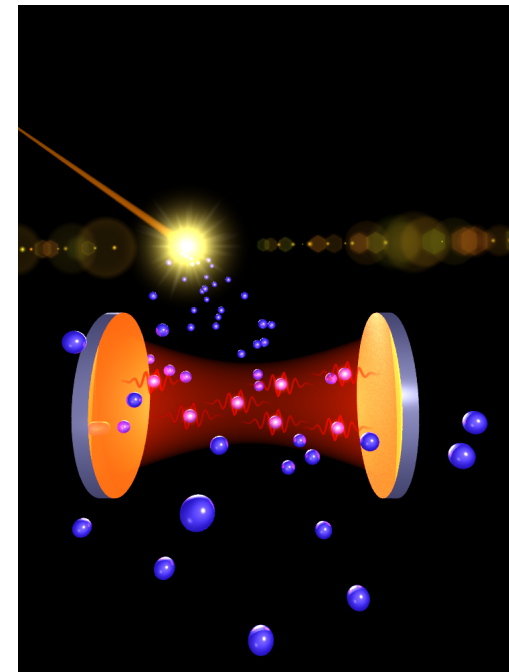
Obiettivo del corso:

Studio e comprensione dei principi e degli effetti dell'interazione radiazione-materia sia dal punto di vista dell'elettrodinamica classica, sia quantistica.

Argomenti principali:

- Teoria semiclassica dell'interazione e applicazioni
- Teoria quantistica dell'interazione (stati non classici, stati di vuoto, stati "dressed," statistica dei fotoni, etc.)
- Coerenza e fenomeni di correlazione
- Rivelazione, fotoconteggio e fluttuazioni
- Fenomeni collettivi (superradianza, free induction decay, photon echo, etc)
- Laser (statistica, instabilità, luce squeezed, etc.)
- Ottica non-lineare (down conversion, four wave mixing, misure quantum non-demolition)

Esame: solo orale



Fisica dello stato Solido (9 CFU primo semestre)

Docente: **G. GROSSO**

Esame: orale

Electrons in one-dimensional periodic potentials.



Geometrical description of crystals: direct and reciprocal lattices. Scattering of particles by crystals.



The Sommerfeld free-electron theory of metal. Electron gas in magnetic fields.



Band Theory of Crystals k-space methods.



Interacting electronic-nuclear systems and the adiabatic principle. Lattice dynamics of crystals. Anharmonic effects.



Optical properties of metals, semiconductors and insulators



Transport in intrinsic and homogeneously doped semiconductors

Teoria Quantistica dei Solidi (9 CFU secondo semestre)

Docente: **G. GROSSO**

Beyond the one-electron approximation: many body theory

Esame: orale

Ground state energy, ionization energies and transition energies in the the **Hartree-Fock** theory

The **Density Functional Theory** and the Kohn-Sham equations

Implementations for band structures calculations

Excitons, plasmons and dielectric **screening** in crystals

Green's function and iterative methods in electronic structure calculations.

The **Lanczos** or recursion method

The **Moments** method

The **Renormalization** method for electronic systems

Superconductivity



LA FISICA DEI SISTEMI A MOLTI CORPI Many-Body Physics

II SEMESTRE 9 CFU

• **MARILÙ CHIOFALO**

• DIPARTIMENTO DI FISICA «ENRICO FERMI» E infn UNIVERSITÀ DI PISA

Email: maria.luisa.chiofalo@unipi.it

Skype: maria.luisa.chiofalo

Moodle: <https://www.df.unipi.it/elearning>

Website: https://people.unipi.it/maria_luisa_chiofalo/

22

5/17/17
11:40:47
AM

Fisica dei Sistemi a Molti Corpi



What: unifying idea via 2 concepts

CONSERVED QUANTITIES

- Number of particles
- Momentum/current (angular too)
- Energy
-



BROKEN SYMMETRIES

- Liquid to Crystal
- Normal to Super Fluidity
- Para to Ferro Magnetism
-

Classical

$\lambda_{dB} \sim$ sistem size

Quantum

Appear:

- New Hydodynamic modes
- New elastic constants
- Defects

Reduced
symmetry

Temperature

Interactions

Dimensionality

LABORATORIO DI OTTICA QUANTISTICA
FISICA DEI DISPOSITIVI FOTONICI
FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE
LASER A STATO SOLIDO
REOLOGIA
SPETTROSCOPIA DEI NANOMATERIALI

Laboratorio Ottica Quantistica

Teoria

12 CFU

Laboratorio sperimentale

Docente:

M. TONELLI

- Rifrazione e riflessione
- Polarizzazione della luce
- Interferenza
- Michelson
- Fabry Perot
- Olografia
- Ottica Gaussiana
- Cavità laser
- Teorema di stabilità
- Diodo laser a semiconduttore
- Interazioni Van der Waals : upconversion
- Duplicazione della frequenza: cristallo non lineare
- Fibre ottiche e propagazione della luce guidata

Olografia statica e dinamica

Analisi spettrale di un laser

Fibre ottiche: propagazione

Laser a diodo: caratterizzazione

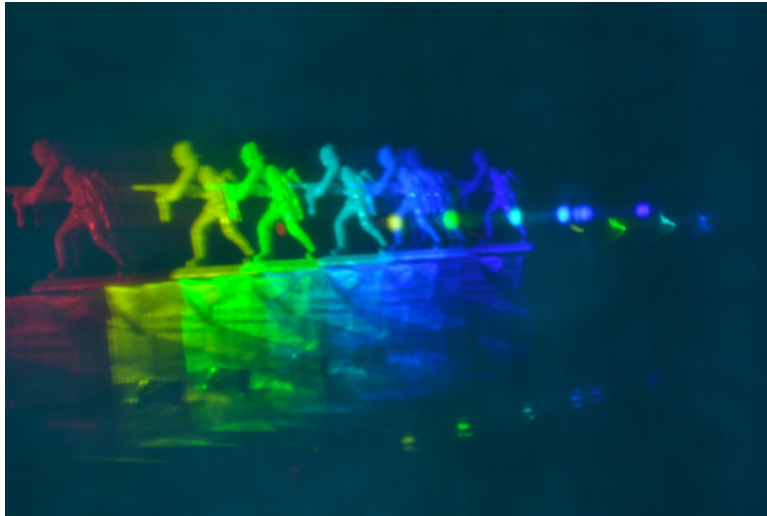
Michelson: applicazioni

Interazioni Van der Waals:
Infrarosso → Visibile

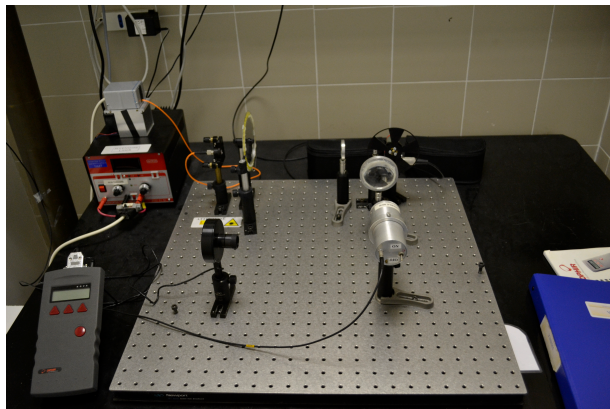
duplicazione di frequenza

Esempi di laboratorio

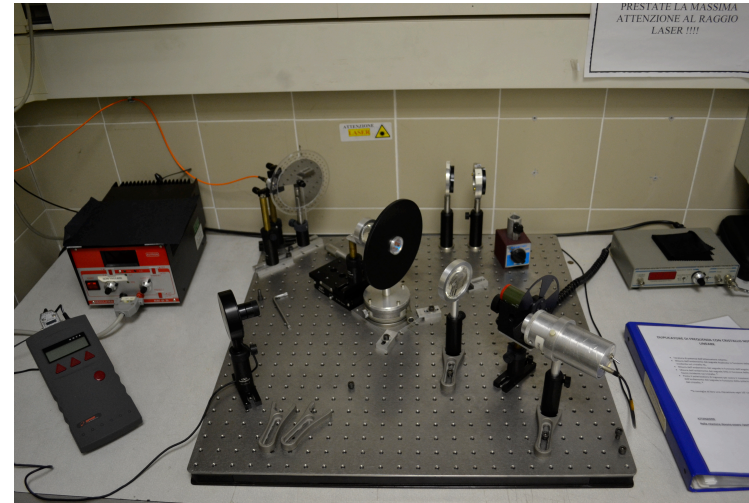
Olografia statica



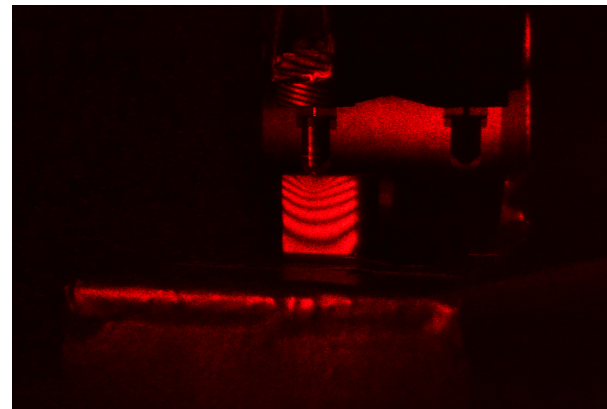
upconversion



Duplicazione di Frequenza



Olografia dinamica



FISICA DEI DISPOSITIVI FOTONICI (9 cfu)

Tredicucci/Polini

Obiettivo del corso:

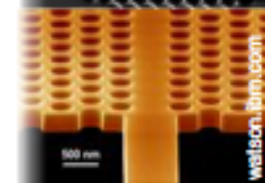
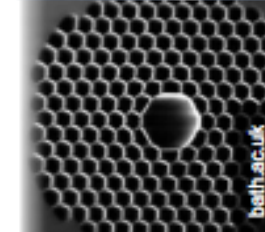
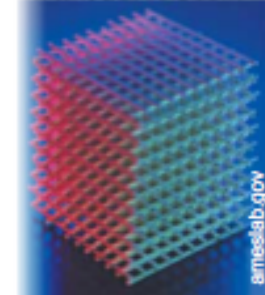
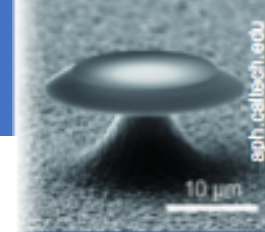
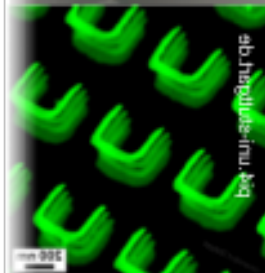
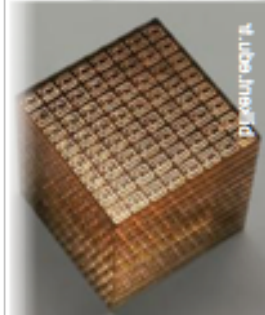
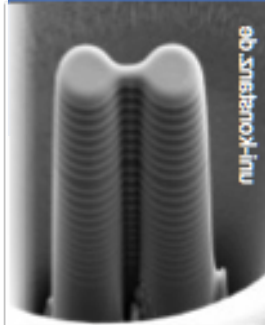
Studio dei principi fisici, dei meccanismi di funzionamento, delle proprietà che contraddistinguono i **dispositivi utilizzati per generare, manipolare, e rivelare la radiazione elettromagnetica**

Argomenti principali:

- Laser e amplificatori a semiconduttore, nanostrutture
- Dispositivi non-lineari
- Polaritoni e microcavità
- Fotonica nei materiali 2D
- Plasmonica
- Rivelatori

Congresso: il corso prevede la possibilità di frequentare una giornata del congresso nazionale di fotonica

Esame: solo orale, su prenotazione, in parte a seminario



Laser a Stato Solido

3CFU

Docente:

M. TONELLI

- Metodi di **crescita** dei materiali isolanti e semiconduttori
- Cristalli isolanti **drogati** con ioni trivalenti di terre rare (RE)
- Sezione d'urto di **assorbimento** ed **emissione**
- **Laser** in continua ed impulsati: teoria
- Laser in continua ed impulsati con cristalli drogati con RE: near IR, visible, UV
- Laser a stato solido per **applicazioni** metrologiche: orologi atomici, pettini di frequenza per spettroscopia ad alta risoluzione
- Applicazioni interazioni Van der Waals: particolari emissioni laser e fotovoltaico
- **Raffreddamento ottico** di cristalli: prospettive ed applicazioni
- Prospettiva microscopica: laser guidati **ibridi** semiconduttori-isolanti

Fisica delle Superfici e Interfacce – 3 crediti, 1° semestre Docente: **Massimiliano Labardi**

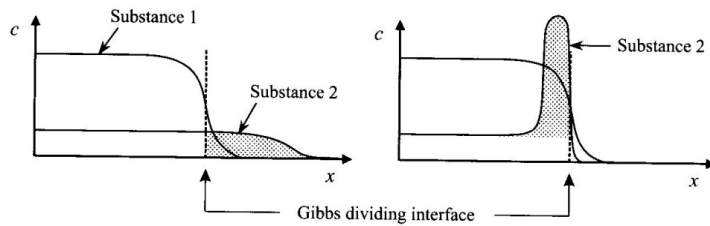
Il corso ha carattere sperimentale, e mira ad ampliare il quadro generale dei fenomeni e dei processi che si verificano alle superfici e interfacce della materia condensata, e delle tecniche di indagine fisica con sensibilità confinata all'interfaccia.

E' diviso in due parti:

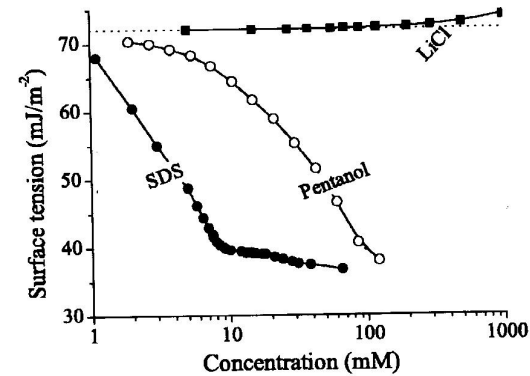
- 1) **Fenomenologia delle superfici e interfacce**, che comprende i seguenti principali argomenti:
forze intermolecolari di Van der Waals, interfasi solido-liquido- gas e loro descrizione termodinamica, tensione superficiale, bagnabilità e angolo di contatto, pressione di vapore, doppio strato elettrico in soluzioni ioniche.
- 2) **Tecniche di indagine con sensibilità superficiale**, con:
spettroscopie di fotoemissione ed emissione Auger, perdita di energia di elettroni, scattering ionico, microscopie a scansione di sonda a effetto tunnel elettronico, a forza atomica e a forza elettrostatica.

E' prevista anche una visita a laboratori di ricerca dove sono operativi microscopi a scansione di sonda di tipo a forza atomica e a forza elettrostatica.

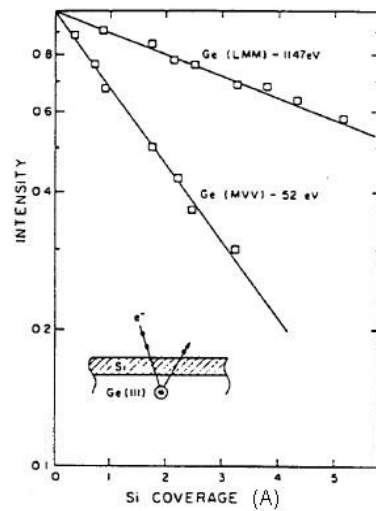
Fisica delle Superfici e Interfacce – 3 crediti, 1° semestre



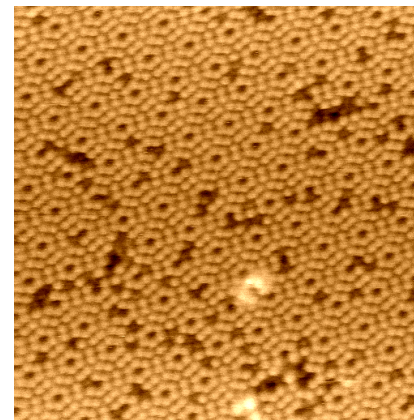
Diverse casistiche per l'arricchimento in concentrazione di un soluto (2) all'interfaccia del solvente (1) col suo vapore.



Tensione superficiale dell'acqua vs. concentrazione di vari soluti, col raggiungimento (nel caso dell'SDS) della Concentrazione Micellare Critica (CMC).



Misura della lunghezza di penetrazione degli elettroni in un solido in funzione dell'energia, tramite spettroscopia Auger.



Mappatura della ricostruzione superficiale 7x7 del silicio (111) tramite microscopia a scansione a effetto tunnel elettronico.

Docente: Massimiliano Labardi

Reologia

- Docente: Dott. Laura Andreozzi
- CFU 3 , mutuato con il corso Rheology della LM materiali e nanotecnologie
- Ore di lezione 18, Il semestre dell'anno accademico
- Il corso tratta della reologia, definita come la scienza che studia proprietà di flusso e deformazione di materiali. Si tratterà la differente risposta viscosimetrica dei fluidi, la viscoelasticità, ed altri aspetti fondamentali della reologia, eventualmente accennando anche argomenti più specialistici
- Il corso intende fornire agli studenti una introduzione alla reologia, molto importante nello studio fondamentale e applicativo di materiali complessi quali: polimeri, materiali per l'elettronica e l'ottica, cibi, biofluidi, materiali per l'industria, prodotti cosmetici, vernici ecc.

Spectroscopy of Nanomaterials

Alessandra Toncelli

mutuato da LM Materials and Nanotechnology

Francesco Fuso

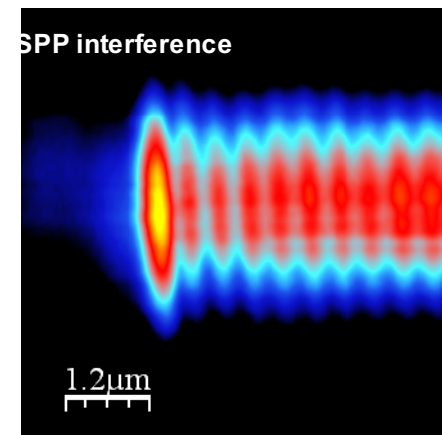
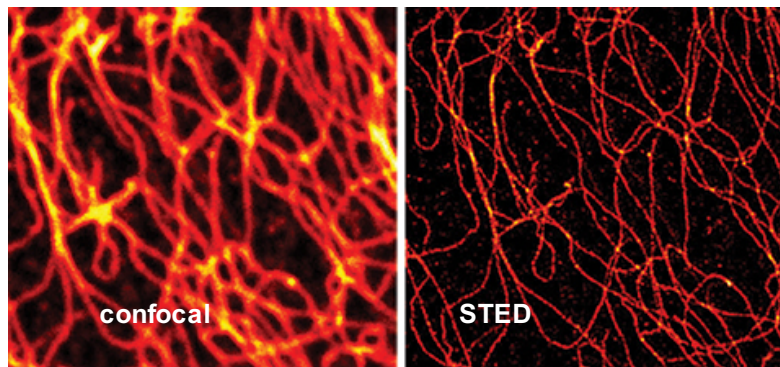
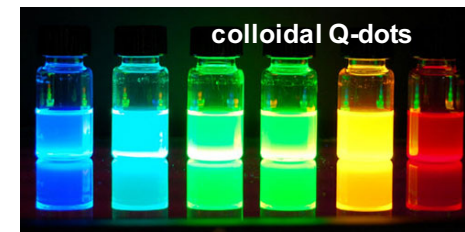
(12 cfu, 9 cfu per LM Fisica, annuale)

Obiettivi:

- ✓ fornire conoscenze di base per l'interpretazione degli spettri di **fluorescenza** delle sostanze;
- ✓ analizzare **configurazioni sperimentali di spettroscopia e microscopia ottica**, dal visibile all'infrarosso, fino alla regione del THz;
- ✓ discutere metodi per **indagini su scala locale**, fino alla risoluzione molecolare e atomica;
- ✓ introdurre concetti e sistemi fondamentali di **nano-ottica, nanofotonica, sensoristica**.

Argomenti principali:

- Proprietà ottiche dei principali sistemi fisici.
- Tecniche sperimentali: sorgenti, rivelatori, spettrometri.
Spettroscopia di Fourier e Raman.
- Microscopia oltre il limite di diffrazione e a scansione di sonda.
- Proprietà ottiche di sistemi confinati, plasmonica superficiale e localizzata, cristalli fotonici e metamateriali.



SISTEMI COMPLESSI

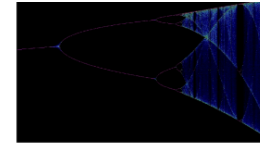
SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO

SISTEMI COMPLESSI – DINAMICHE NEURALI

Sistemi complessi

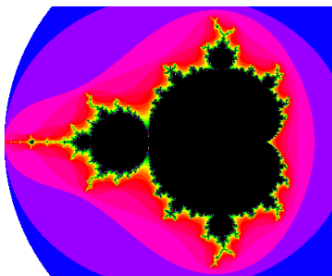
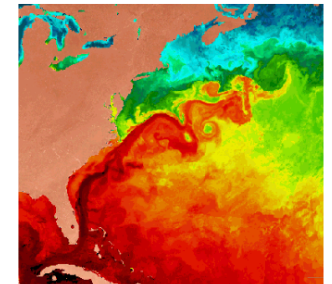
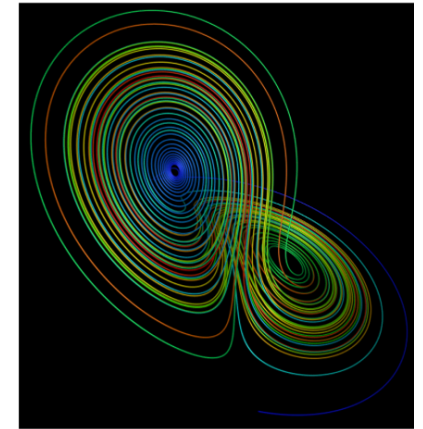
Docente: **R. Mannella**

9 CFU



Il corso mira a fornire gli strumenti e le metodiche di base, utili per lo studio dei **Sistemi Complessi**. Alcuni degli argomenti trattati:

- Moto browniano, **equazioni differenziali stocastiche**: teoria e simulazioni
- **Distribuzioni stabili**, fat tails
- **Caos** in sistemi deterministici e in sistemi dissipativi, connessione con la turbolenza, sua caratterizzazione; **frattali**
- Elementi di analisi dei clusters, **matrici random**



Una volta discusso il formalismo e gli strumenti in generale, verranno viste applicazioni in un tipico sistema complesso (**econofisica**) e in modelli rilevanti per lo **stato liquido**, in fisica dei **plasmi** e in **ambito interdisciplinare** come la climatologia

Sistemi disordinati e fuori equilibrio (9 CFU)

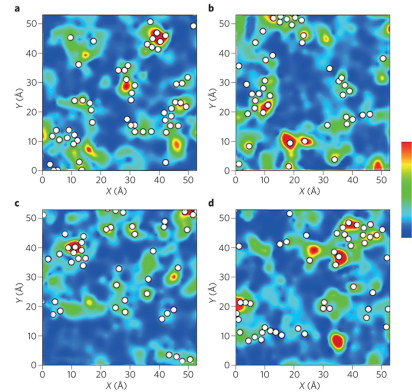
D. Leporini, S. Capaccioli

PROBLEMA: la Fisica conosce a fondo **sistemi ordinati e in equilibrio** ma fatica a descrivere **disordine** e stati **fuori equilibrio** di interesse fondamentale e industriale.

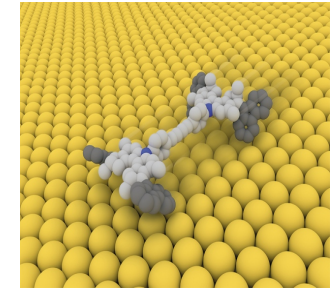
Obiettivi formativi:

Il Corso intende fornire conoscenze di base in:

- Descrizione ed interpretazione del disordine in **liquidi, colloidi, vetri e polimeri**.
- Dinamica e termodinamica degli stati di **fuori equilibrio** nella materia **passiva e attiva** (motori molecolari, batteri, sciami).
- **Tecniche sperimentali** di uso corrente nello studio di struttura e dinamica di sistemi disordinati. In collaborazione con:



Correlazione spaziale tra sofficiat' e deformazione microscopica in un vetro metallico



Una nanomacchina a propulsione chimica attraverso una superficie metallica



I polimeri rendono piu' bello il sorriso



Fase colloidale
(ricavi: 1.7 MID Eur/anno)

Sistemi Complessi – Dinamiche Neurali

Docente: **Enrico Cataldo** (enrico.cataldo@unipi.it)

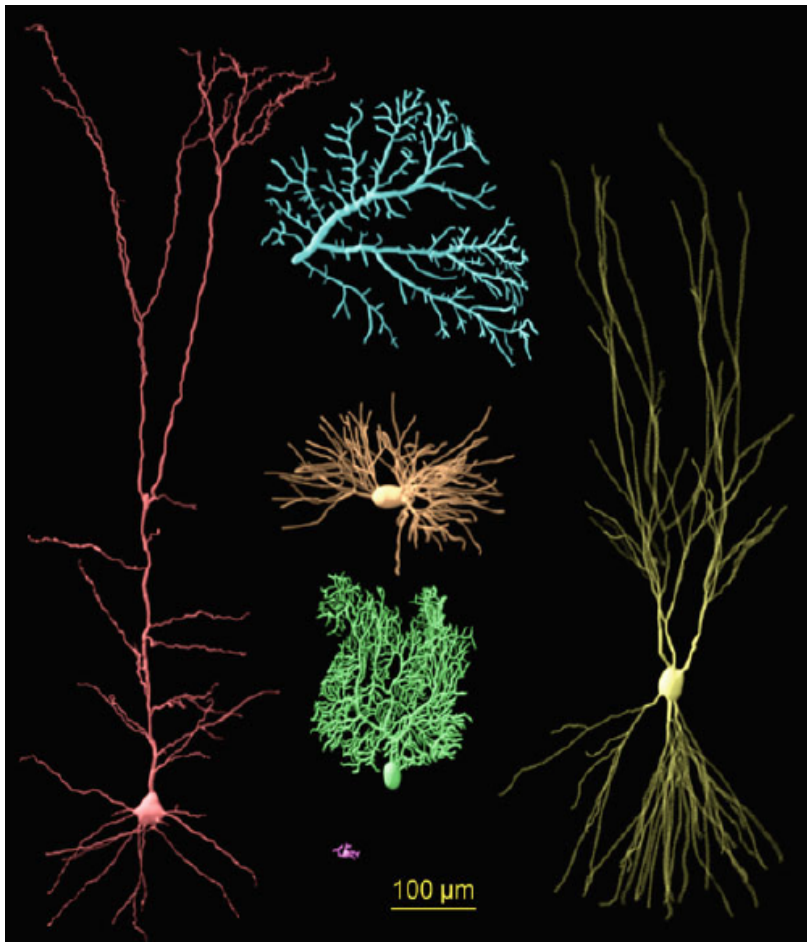


Fig. 1.1 Diversity of dendrite morphology. Different dendritic morphologies illustrating their wide diversity in neural systems. Dendrites are laid out on the same scale: (*red*) rat cortical pyramidal cell (Wang et al. 2002); (*cyan*) fly lobula plate HSN cell (Cuntz et al., 2008); (*orange*) rat thalamic relay neuron (Destexhe et al. 1998); (*yellow*) rat hippocampal pyramidal cell (Ishizuka et al. 1995); (*green*) rat cerebellar Purkinje cell (Vetter et al. 2001); (*pink*) rat neocortical neurogliaform cell (Furtak et al. 2007). Note the differences in size, overall shape, and diameters. Data downloaded from Neuromorpho.org (Ascoli et al. 2007) with reference to the works in which they originally appeared

Cuntz, Remme, Torben-Nielsen (Eds) The Computing Dendrite From Structure to Function. Springer - 2014.

Nei vertebrati, si hanno (circa)
10000 classi morfologiche
neuronal.

Un mm³ di corteccia umana
è costituita da (circa):
10⁵ neuroni
10⁹ sinapsi
400 metri di filamenti dendritici
4 km di filamenti assonali

Sistemi Complessi – Dinamiche Neurali

Docente: **Enrico Cataldo** (enrico.cataldo@unipi.it)

Levels of Investigation

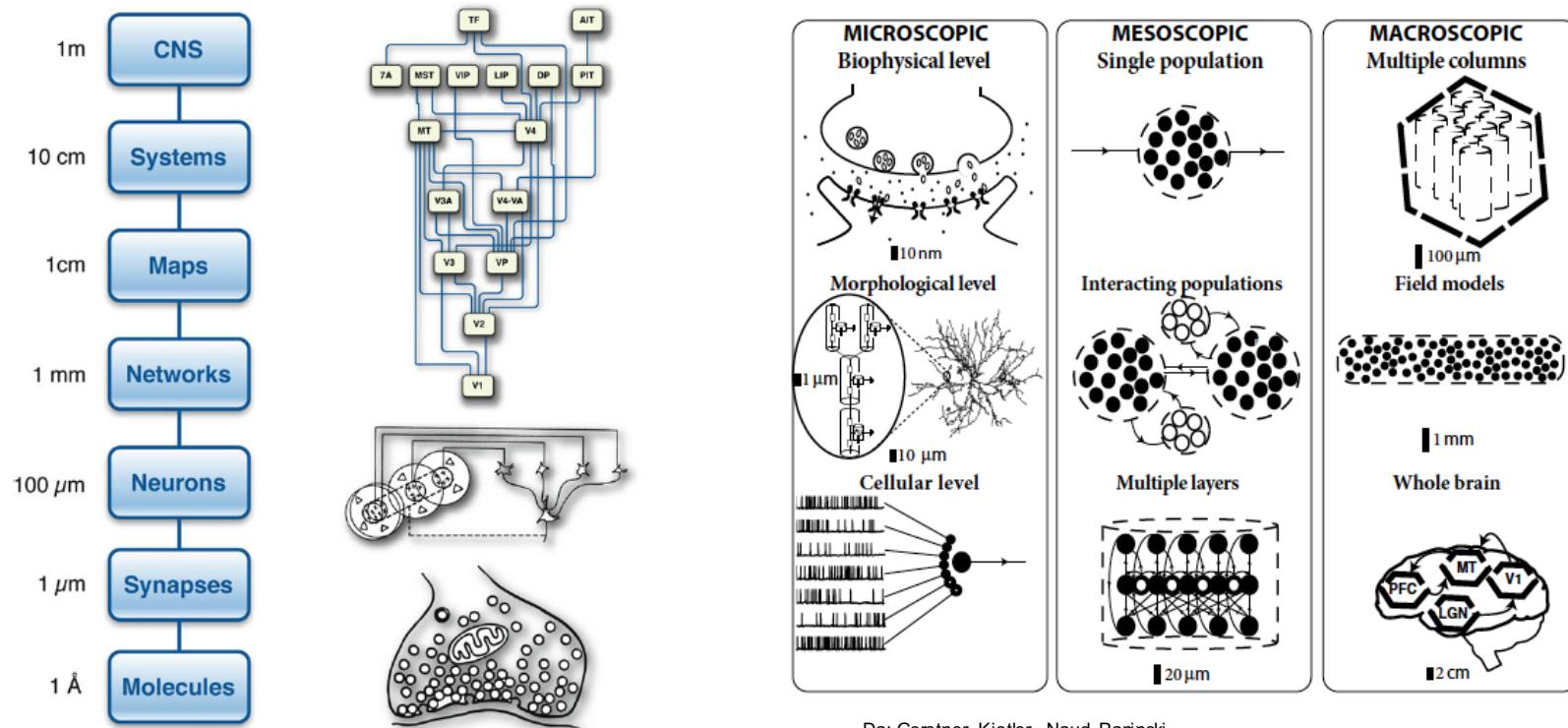


Fig. 1 Levels of investigation in the brain span 10 orders of spatial scale, from the molecular level to the entire central nervous system (CNS). Important structures and functions are found at each of these levels. Macroconnectomics provides the long-range connections between neurons in maps and systems, microconnectomics focuses on the network level, and nanoconnectomics extends down to synapses and molecules [adapted from Churchland and Sejnowski (1988)]

Da: Gerstner, Kistler, Naud, Parinski.
Neuronal Dynamics - From Single Neurons to Networks and Models of Cognition
CUP - 2014..

Da: Sejnowski, T. J. Nanoconnectomics Kennedy, H. Van Essen, D. Christen, Y. (Ed.),
In: Micro-, Meso- and Macro-Connectomics of the Brain, Springer: Switzerland, 1-10, 2016

FONDAMENTI DI FISICA DEI PLASMI E DEI FLUIDI
FLUIDODINAMICA
OTTICA QUANTISTICA
PLASMI B
PLASMI C

Francesco
Califano

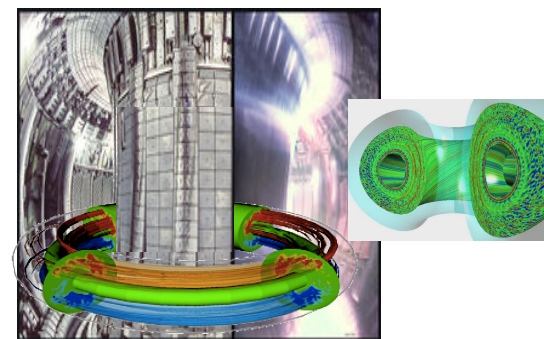
Fondamenti di Fisica dei Plasmi

9 crediti

*I plasmi nello spazio e in laboratorio:
studio della dinamica di un sistema complesso*



TURBOLENZA
NEI FLUIDI



FUSIONE TERMONUCLEARE

Introduzione ai plasmi plasmi spaziali e di laboratorio

Termodinamica di un plasma e ruolo delle collisioni

Funzione di distribuzione, equazione di Vlasov

Variabili macroscopiche. Equazioni fluide

Turbolenza nei fluidi

Onde e instabilità

La Magneto-idrodinamica

La riconnessione magnetica.

La fusione in laboratorio

$$\frac{\partial f_a}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \frac{\partial f_a}{\partial \mathbf{x}} + \frac{q_a}{m} \left(\mathbf{E} + \frac{\mathbf{v} \times \mathbf{B}}{c} \right) \cdot \frac{\partial f_a}{\partial \mathbf{v}} = 0$$

*Doppio diploma in
plasmi Pisa Parigi*



Fluidodinamica. (Fulvio Cornolti) 6 CFU

Scopo: Presentare la **strumentazione matematica di base** e ricavare le leggi costitutive della dinamica dei fluidi ideali e viscosi, discuterne i limiti di applicabilità, alcune proprietà generali e descrivere alcune delle principali manifestazioni della dinamica dei fluidi in natura e nella tecnologia.

Programma

Significato e validità della descrizione fluida e dell'uso delle variabili termodinamiche .

Cinematica dei corpi deformabili.

Leggi di trasporto di massa, quantità di moto, energia, entropia e vorticità per fluidi semplici e composti ideali.

Moto di fluido ideale intorno a un ostacolo, teoria della portanza alare.

Cenno alla risoluzione delle equazioni fluidodinamiche mediante la tecnica delle caratteristiche e invarianti di Riemann: alcuni esempi.

Equazioni di trasporto per fluidi viscosi e dissipativi.

Discussione di alcuni esempi importanti.

Teoria elementare dello strato limite in diverse configurazioni.

Onde sonore onde di superficie e di gravità e loro propagazione.

Instabilità di Rayleigh-Taylor e di Kelvin-Helmholtz.

Distacco dello strato limite e insorgenza dei moti turbolenti: applicazione alla teoria della portanza delle ali.

Discontinuità, onde d'urto, di combustione e di detonazione.

Cenni al fenomeno della tensione superficiale.

Esame: a richiesta

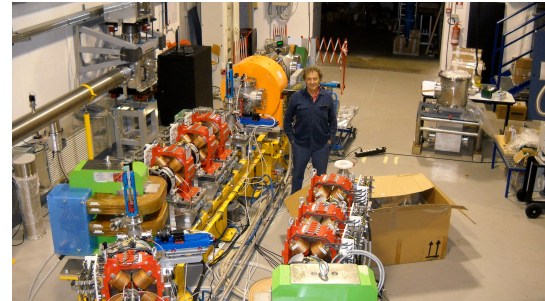
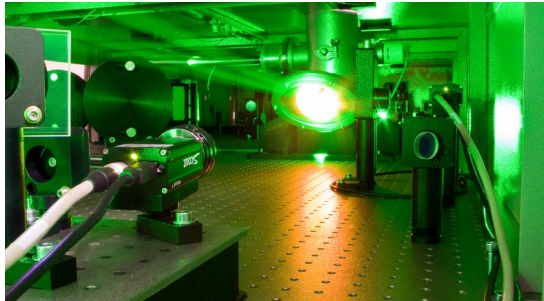


OTTICA QUANTISTICA

Prof. Danilo Giulietti

- *Richiami di Ottica Fisica
- *Principi di funzionamento dei LASERS
- *Interazione Radiazione Materia ad Alte Intensità
- *Plasmi prodotti da LASER
- * Sorgenti impulsive di alta brillantezza di Radiazione X
- * Accelerazione LASER-Plasma di elettroni e ioni
- * Sorgenti secondarie di radiazione e.m. (Thomson Scattering, Radiazione di Betatrone, Radiazione di Transizione, ...)
- * Fusione Termonucleare Controllata
- (Inerziale e a confinamento magnetico)

OTTICA QUANTISTICA: laboratori Italiani di riferimento



Laboratori Nazionali di Frascati (INFN)

laser FLAME Progetto Strategico PLASMONX (Accelerazione Laser-Plasma di elettroni e ioni e sorgenti secondarie di radiazione e.m.)



ENEA - Centro Ricerche di Frascati

laser ABC (Studi sulla Fusione Termonucleare Controllata)

Plasmi B (teoria cinetica) Docente **F. Pegoraro** 3 CFU

Il corso affronta alcuni aspetti di grande rilievo fisico della dinamica di un **plasma in regimi lontani dall'equilibrio termodinamico**.

Il corso parte dalla formulazione fornita nel corso propedeutico (Fondamenti di fisica dei plasmi e fluidi) e presenta un plasma come un sistema a molte particelle con una **dinamica collettiva** che ne determina le proprietà macroscopiche (ad esempio il trasporto di quantità di moto dovuto all'eccitazione di modi di oscillazione instabili) e che richiede una descrizione di tipo cinetico.

Verranno in particolare trattati i seguenti temi:

- Propagazione ed eccitazione di onde elettromagnetiche in plasmi magnetizzati in regimi cinetici (vedi figura: *Fischi in coro* dalla ionosfera).
- Relazione tra l'eccitazione di onde di "deriva" in plasmi disomogenei e le proprietà di trasporto di densità ed energia in un plasma.
- L'effetto dell'eccitazione di modi di oscillazioni instabili sulle proprietà macroscopiche del plasma.
- Processi di generazione ed annichilazione di campo magnetico in plasmi.

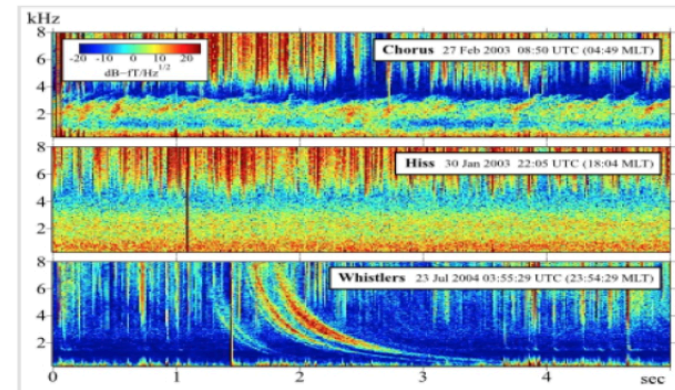


Figure 3: Whistler-mode emissions observed at Palmer play critical roles in controlling the structure of the radiation belts. Chorus (top panel) is an important source and loss mechanism for energetic particles, while hiss (middle panel) and whistlers (bottom panel) are important loss mechanisms.

"PLASMI C" (Andrea Macchi) 6 CFU

"Processi Nonlineari e Applicazioni dei Plasmi"

Scopo : Il corso vuole fornire un'introduzione a varie **problemi** della fisica dei plasmi spaziando dai **plasmi di scarica a bassa temperatura con le loro numerosissime applicazioni tecnologiche sino all'interazione laser-plasma ad altissima intensità**. Attraverso la descrizione di vari modelli il corso fornisce anche un'introduzione ad alcune tecniche di soluzione di problemi nonlineari.

Programma indicativo

(adattabile(estendibile) a seconda degli interessi dei partecipanti)

Richiami di base di fisica del plasma. Equazioni fluide e loro "chiusura".

Onde lineari trasversali e longitudinali. Onde localizzate, plasmoni di superficie e loro applicazione in plasmonica. Onde elettrostatiche di grande ampiezza e *wavebreaking*.

Dinamica nonlineare degli ioni: onde ion-acustiche, espansione self-similare di un plasma caldo, criterio di Bohm per la formazione di una *sheath* stabile, *shocks* e solitoni in regime non collisionale.

Onde elettromagnetiche di grande ampiezza e ottica relativistica: self-focusing, trasparenza indotta. Forza ponderomotiva e pressione di radiazione. Specchi relativistici. Applicazioni: acceleratori laser-plasma di elettroni e di ioni, generazione di alte armoniche, produzione di impulsi ultrabrevi e superintensivi. Instabilità e generazione di campi quasi-statici. Applicazioni alla fusione a confinamento inerziale e all'astrofisica "di laboratorio".

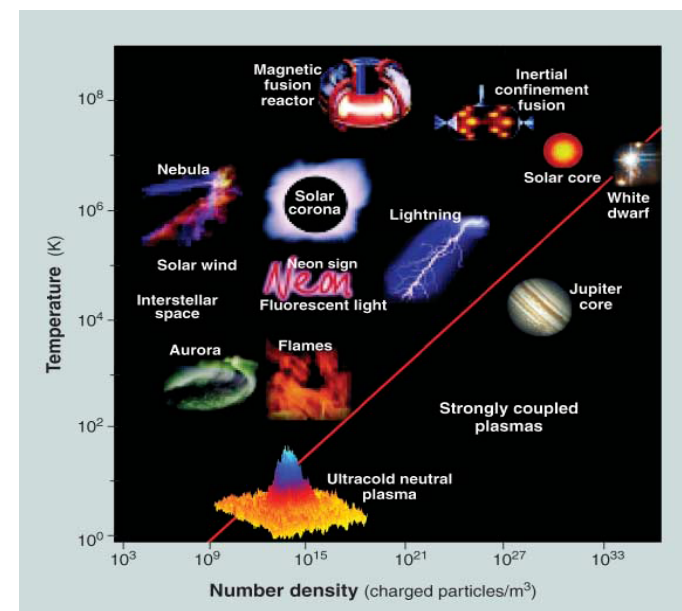
Scariche e dispositivi al plasma, sonde elettrostatiche, applicazioni alla propulsione spaziale.

Principi di simulazione dei plasmi: modello di Dawson, metodi "Vlasov" e "Particle-In-Cell".

Esame: a richiesta, un progettino/seminario che può includere aspetti di calcolo numerico

Per contatto e informazioni: E-mail macchi@df.unipi.it Web <http://www.df.unipi.it/~macchi>

Info sul corso: <http://www.df.unipi.it/~macchi/TEACHING/PLASMAS/plasmiC.html>



OTTICA ATOMICA

COMPUTAZIONE QUANTISTICA

Ottica atomica

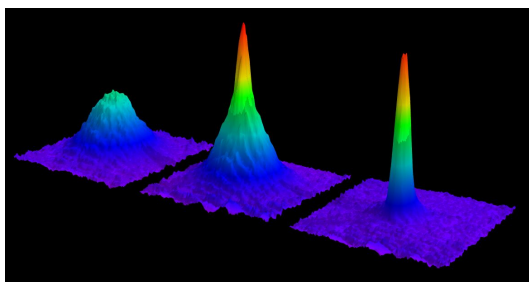
D. Ciampini

(9 crediti, II semestre)

Esame: orale

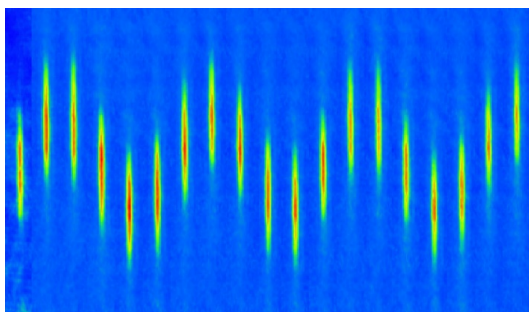
OBIETTIVI

Esplorare la fisica degli **atomi freddi**: onde di materia controllate e manipolate dalla luce. Approfondire la teoria quantistica dell'interazione radiazione-materia. Comprendere configurazioni sperimentali avanzate di ottica quantistica.



PROGRAMMA SINTETICO:

Richiami sugli stati 'dressed' di radiazione - materia.
Raffreddamento e intrappolamento degli atomi.
Collisioni ultra-fredde, risonanze di Fano-Feshbach.
Interferometria atomica e orologi atomici.
Gas quantistici degeneri: descrizione di campo medio e proprietà di coerenza.
Atomi freddi in reticoli ottici per studiare sistemi a molti corpi.



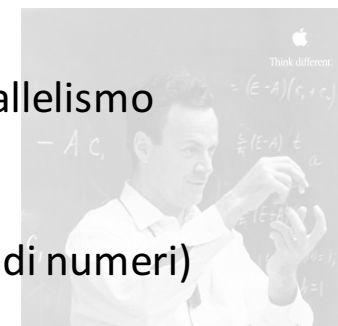
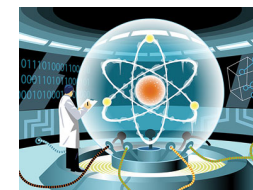


Computazione quantistica

Docente: **Oliver Morsch** ; 3 CFU

Argomenti del corso:

- **Perché i computer quantistici?** Il concetto del quantum bit, parallelismo quantistico e l'idea di Feynman del 1981
- **Algoritmi quantistici** (in grado, per esempio, di fattorizzare grandi numeri) e il loro funzionamento
- **Comunicazione quantistica:** scambio di chiavi crittografiche e teletrasporto di stati quantistici
- **Realizzazioni sperimentali** di computer quantistici (con atomi e ioni intrappolati, risonanza magnetica, quantum dots, ecc.)
- **Altri concetti** (quantum error correction, modelli di computazione classici e quantistici, ecc.)



INO
ISTITUTO NAZIONALE
DI OTTICA

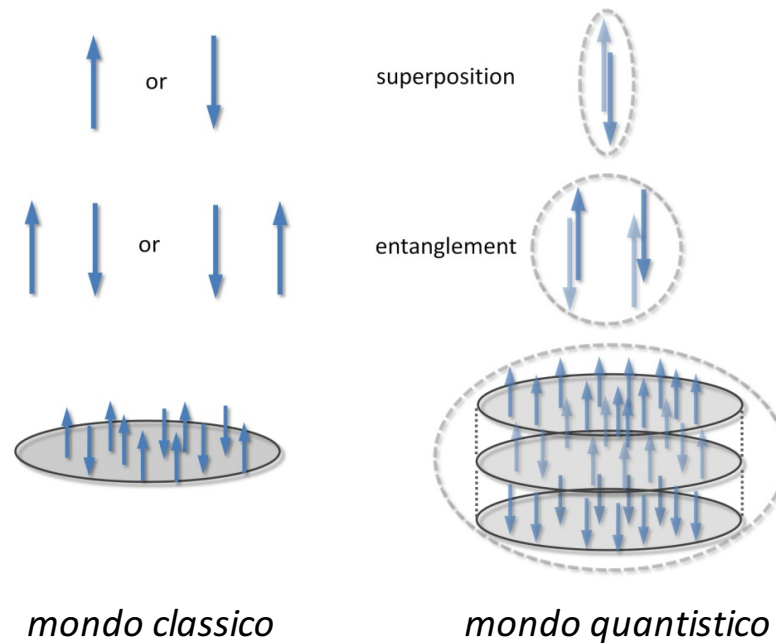
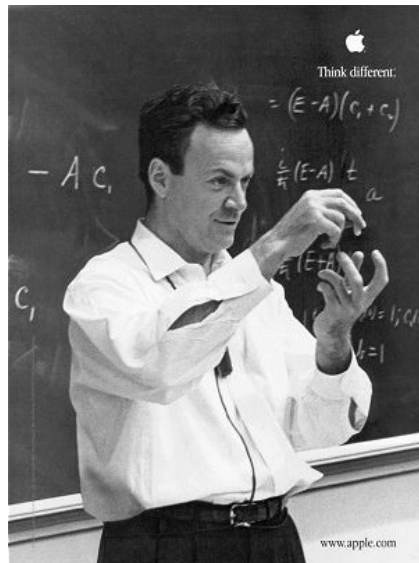
L'idea di Feynman

Simulating Physics with Computers

Richard P. Feynman

Department of Physics, California Institute of Technology, Pasadena, California 91107

Received May 7, 1981



Per calcolare l'evoluzione quantistica di 40 particelle serve 1 TB di memoria; **per 100 particelle il numero di bit eccede il numero di protoni nell'universo.**

SOLUZIONE: Un computer basato sulla meccanica quantistica

ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA
CHIMICA FISICA MOLECOLARE
METODI DI SIMULAZIONE IN STRUTTURA DELLA MATERIA

Algoritmi di Spettroscopia

Giovanni MORUZZI

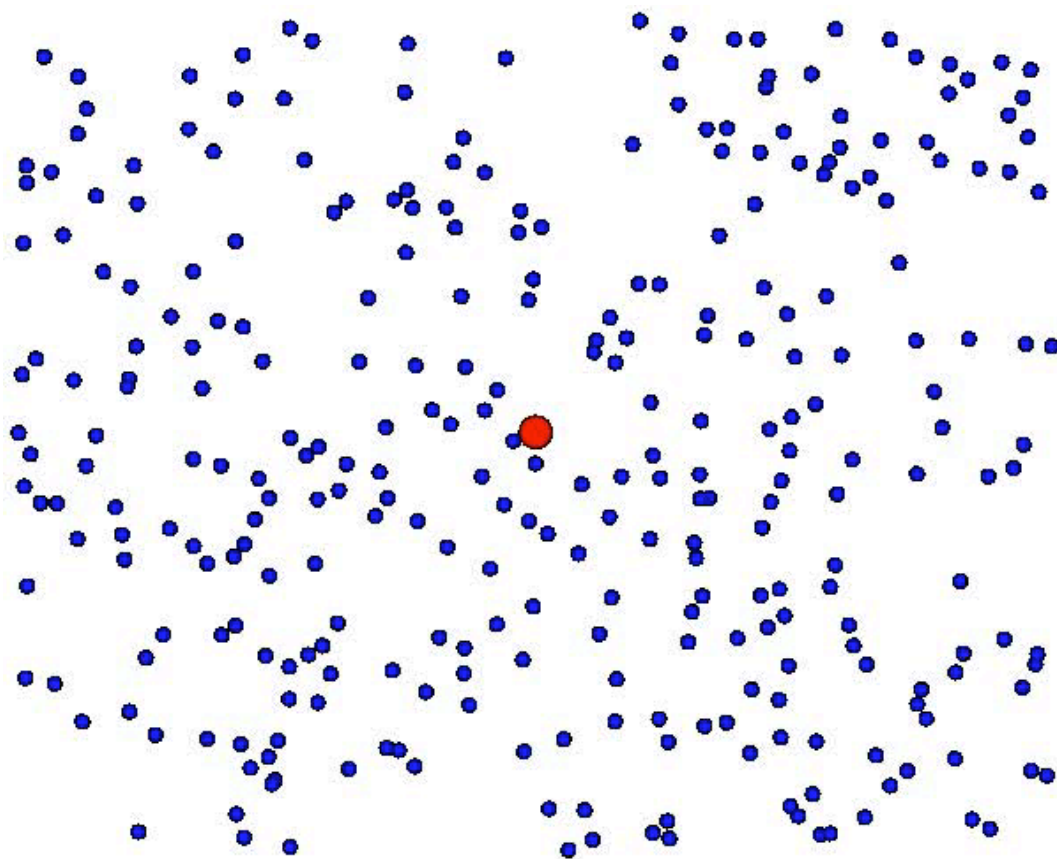
Uso interattivo di Python, di interesse per la fisica

Scripts in Python

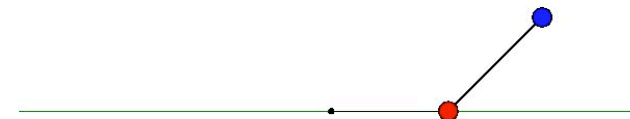
Lettura e scrittura di file di dati e testo

Soluzione di equazioni, ricerca di massimi e minimi di funzioni

Soluzione numerica di equazioni differenziali



Moto Browniano:



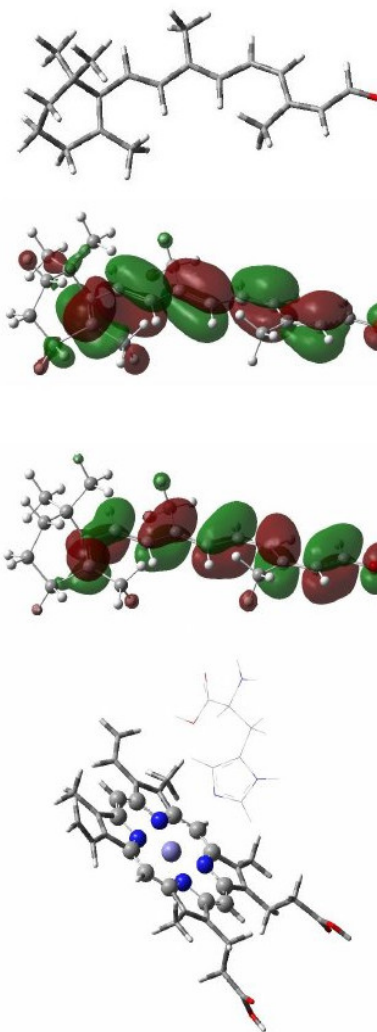
Pendolo doppio
Senza attriti
Con gravita'

Chimica Fisica Molecolare

Prof. Claudio Amovilli

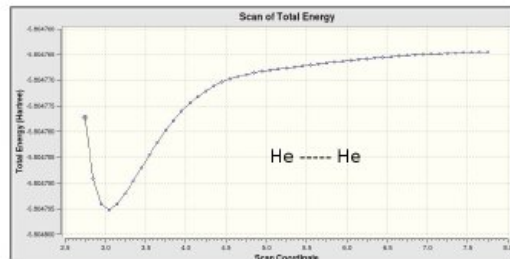
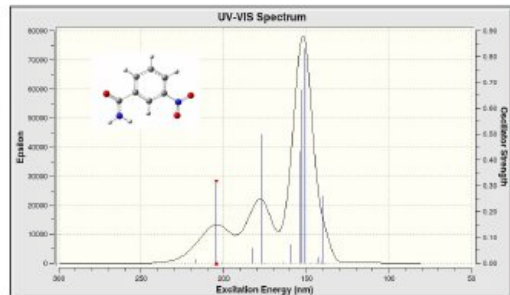
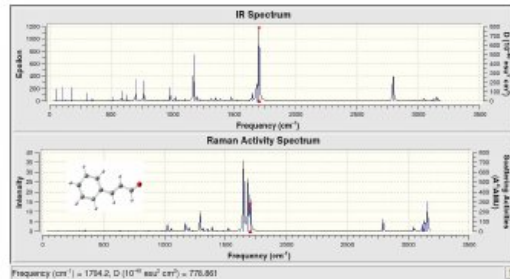
Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale
e-mail: claudio.amovilli@unipi.it

Ambiti del corso



- ▶ L'oggetto di studio è la struttura elettronica di aggregati molecolari da un punto di vista teorico.
- ▶ Supporto alle tecniche di indagine sperimentale (spettroscopia computazionale).
- ▶ Studio di processi elementari (primo passaggio obbligato per uno studio multiscala di sistemi complessi).
- ▶ Progettazione di dispositivi molecolari.
- ▶ Interazioni non covalenti (molecola-molecola, molecola-sistema complesso, ecc...).
- ▶ Benchmark di calcolo (precisione sub-chimica, miglioramento delle tecniche, evoluzione degli strumenti del calcolo, ecc...).

Obiettivi formativi e contenuti del corso



- ▶ Apprendimento delle moderne tecniche di indagine teorica della struttura elettronica di un sistema molecolare o supermolecolare.
- ▶ Separazione dei moti nucleari e funzione d'onda elettronica
- ▶ Teorie di campo medio e modelli a particelle indipendenti
- ▶ Trattamento accurato della correlazione elettronica
- ▶ Teoria del funzionale della densità
- ▶ Metodi Monte Carlo quantistici
- ▶ Teoria della risposta
- ▶ Laboratorio di calcolo molecolare.

Metodi di simulazione in struttura della materia (6 CFU)

Struttura della Materia

Docente: **Valentina Tozzini**

Fisica Medica

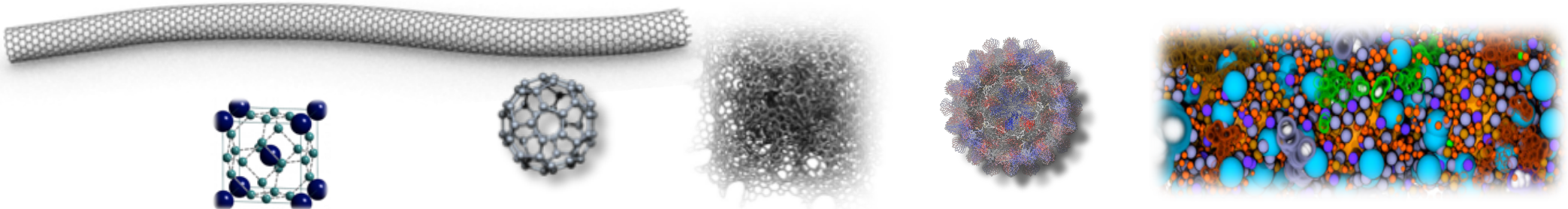
❖ Propedeuticità

- **in entrata:** nozioni base di meccanica classica, quantistica e termodinamica acquisite nel triennio
- **in uscita:** il corso non è propedeutico a nessun altro. Ha tuttavia un legame con i corsi di *Fisica dello stato solido* e *Teoria quantistica dei solidi*, dei quali costituisce un naturale complemento. Fornisce strumenti utili per *Biofisica*, e per i corsi di struttura della materia compatta o soffice.

❖ Obiettivi formativi

- fornire le basi per modellistica, calcolo numerico e simulazioni al computer della dinamica di sistemi di materia condensata **su varie scale spazio-temporali**
- illustrare le potenzialità dell'approccio su sistemi di interesse attuale (grafene, bio-materiali, ...)
- avviare gli studenti all'utilizzo di codici tra quelli più comuni e testati: sono previste esercitazioni in classe con semplici casi test, che gli studenti potranno autonomamente ampliare e complicare a loro piacimento

- ❖ **Modalità di esame:** **Orale**. Opzionalmente e come punto di partenza per l'esame gli studenti potranno illustrare una simulazione autonomamente prodotta.



“Metodi di simulazione in struttura della materia” (Valentina Tozzini, 6CFU)



Le simulazioni al calcolatore sono un ponte tra teoria ed esperimento. Consentono di:

- ✓ risolvere ambiguità nell'interpretazione di dati sperimentali
- ✓ validare teorie tramite confronto tra osservabili calcolati e misurati
- ✓ raggiungere risoluzioni e scale spazio-temporali inaccessibili all'esperimento

Nel corso vengono presentate tecniche di simulazione per approcci che usano teorie a vari livelli di risoluzione: *ab initio* (con elettroni espliciti), risoluzione atomistica con interazioni empiriche, e super-atomistica (metodi *coarse grained*). Per ogni metodo, vengono presentati gli elementi base della teoria e illustrate tecniche di simulazione, con esercitazioni pratiche su codici di uso comune

