



## GUIDA DIDATTICA del CORSO di LAUREA MAGISTRALE in FISICA

### L'orizzonte culturale

La FISICA è la scienza che studia i fenomeni naturali per individuare le leggi che li governano; lo studio della Fisica è basato sul metodo sperimentale e sulla formalizzazione delle leggi tramite il linguaggio matematico.

I laureati del corso di Laurea Magistrale in Fisica devono:

- possedere una formazione approfondita e flessibile, attenta agli sviluppi più recenti della ricerca scientifica e della tecnologia;
- avere un'elevata preparazione scientifica ed operativa nelle discipline che caratterizzano la classe;
- avere un'approfondita conoscenza delle strumentazioni di misura e delle tecniche di analisi dei dati;
- avere un'approfondita conoscenza di strumenti matematici ed informatici di supporto;
- essere in grado di operare con ampia autonomia, anche assumendo responsabilità di progetti e strutture, nel campo della ricerca e dell'innovazione scientifica e tecnologica;
- essere in grado di utilizzare le conoscenze specifiche acquisite, a seconda del curriculum, o per l'utilizzazione e la progettazione di sofisticate strumentazioni di misura o per la modellizzazione di sistemi complessi nei diversi campi delle scienze ed anche in ambiti diversi da quello scientifico;
- essere in grado di utilizzare fluentemente, in forma scritta e orale, almeno una lingua dell'Unione Europea oltre l'italiano, con riferimento anche ai lessici disciplinari e tecnici.

### Il corso di studi in breve

All'interno della Laurea Magistrale in Fisica lo studente potrà scegliere tra cinque percorsi o curricula:

1. Astrofisica
2. Fisica
3. Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia
4. Physics for Instrumentation and Technology
5. Physics of Complex Systems and Big Data

Per ciascun curriculum sono previsti uno o più piani di studio "modello", comprendenti esami obbligatori e esami a scelta.

Il curriculum "Astrofisica" è in **inglese** ed ha un solo piano di studi. Gli studenti possono anche seguire corsi in lingua italiana.

Il curriculum "Fisica" è in **italiano** ed è articolato in cinque piani di studi:

1. Elettronica e Cibernetica
2. Fisica dei Biosistemi
3. Struttura della Materia
4. Fisica Nucleare e Subnucleare
5. Fisica Teorica.

Il curriculum "Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia" è in **italiano** ed ha un solo piano di studi.

Il curriculum "Physics for Instrumentation and Technology" è in **inglese** ed è articolato in quattro piani di studi:

1. Detectors
2. Radioprotection and Hadrotherapy
3. Innovative Materials
4. Neutron Physics and Instrumentation

Il curriculum "Physics of Complex Systems and Big Data" è in **inglese** ed ha un solo piano di studi. Gli studenti possono anche seguire corsi in lingua italiana.

Subito dopo l'iscrizione, gli studenti devono comunicare alla Segreteria della Macroarea di Scienze la loro scelta del curriculum. La scelta del piano di studi va comunicata entro il successivo mese di febbraio. Queste scelte possono essere modificate in ogni momento con l'approvazione del Consiglio di Dipartimento (CdD).

È data facoltà agli studenti di proporre piani di studio diversi da quelli previsti, purché soddisfacenti ai vincoli di legge e coerenti con gli obiettivi del Corso di Laurea Magistrale. Tali piani di studio devono essere sottoposti all'approvazione del CdD.

Si consiglia agli studenti di consultare il Coordinatore del Corso di Studi e/o i componenti della Commissione Didattica prima della presentazione del Piano di Studi.

### **Modalità di accesso**

Per essere ammessi al corso di Laurea Magistrale in Fisica occorre essere in possesso di alcune **conoscenze di base**. Le conoscenze di **matematica** devono includere l'algebra lineare, l'analisi matematica in una e più variabili e operatori lineari, quelle di **fisica** debbono includere le basi della fisica classica e moderna, della meccanica, termodinamica ed elettromagnetismo, elementi di meccanica quantistica, di teoria della relatività ristretta e di fisica nucleare. Sono inoltre richieste competenze di **laboratorio**, di **analisi dati** in fisica e di utilizzazione di **strumenti informatici**.

Potranno accedere direttamente alla Laurea Magistrale in Fisica i laureati in Fisica (classe: L-30-Scienze e tecnologie fisiche) di qualunque università italiana e i laureati in Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia dell'Università di Roma Tor Vergata. Tutte le altre lauree conseguite nella stessa o in altra università saranno valutate dal Consiglio di Dipartimento di Fisica, per stabilire in che modo lo studente può accedere al corso, eventualmente dopo aver integrato il proprio curriculum. A questo

scopo è prevista la possibilità d'iscrizione a corsi singoli (vedi Decreto Rettorale 28/10/2008 e art. 23 del Regolamento Didattico di Ateneo)

### **Date per le immatricolazioni al corso di laurea in Fisica**

Richiesta dei requisiti curriculari: come indicato sul bando di ammissione al corso di laurea  
Scadenza immatricolazioni: come indicato sul bando di ammissione al corso di laurea  
Inizio delle lezioni: 01 ottobre 2018

### **Trasferimenti**

Il trasferimento da altri atenei può essere accolto in base alle possibilità logistiche e allo studente potranno essere riconosciuti i crediti conseguiti nella sua carriera. Gli studenti dovranno presentare domanda preliminare entro i termini indicati sul bando di ammissione.

### **Obiettivi formativi**

Gli obiettivi formativi comuni a tutti i curricula sono:

- Conoscenza avanzata della fisica quantistica, dei metodi matematici della fisica e di alcune tematiche della struttura della materia.
- Capacità di preparare una tesi in fisica e sviluppo delle corrispondenti abilità di ricerca.
- Capacità di risolvere problemi generali di fisica.
- Capacità di approfondire pratiche avanzate di laboratorio di fisica specialistico o di laboratori di calcolo; prendere parte attiva ad un seminario.

Obiettivo formativo specifico dei singoli curricula sarà l'approfondimento di argomenti nel settore di specializzazione prescelto, tramite esami fondamentali per ciascun curriculum ed esami complementari da scegliere da liste.

Gli intervalli di crediti previsti per i differenti possibili percorsi formativi sono tali da permettere un congruo numero di crediti per insegnamenti comuni ed i restanti crediti per insegnamenti specialistici.

### **Risultati di apprendimento attesi, espressi tramite i descrittori di Dublino del titolo di studio**

#### Conoscenza e capacità di comprensione (knowledge and understanding)

I laureati Magistrali in Fisica devono:

- Avere una approfondita comprensione delle più importanti teorie della fisica moderna e delle relative problematiche sperimentali.
- Essere in grado di progettare procedure sperimentali e/o teoriche per tematiche di ricerca in fisica.
- Avere una buona conoscenza dello stato dell'arte in almeno una delle specializzazioni attualmente presenti in fisica

Queste competenze sono ottenute tramite insegnamenti ed attività di laboratorio. La verifica delle conoscenze e capacità di comprensione viene fatta tramite prove pratiche, scritte ed orali.

#### Capacità di applicare conoscenza e comprensione (applying knowledge and understanding)

I laureati Magistrali devono:

- Essere in grado di identificare gli elementi essenziali di un problema fisico anche complesso e saperlo modellizzare, effettuando le approssimazioni necessarie.
- Essere in grado di adattare modelli esistenti a dati sperimentali nuovi.

Queste capacità sono sviluppate durante i corsi e le attività in laboratorio e nel periodo della tesi. Esse sono verificate durante gli esami e l'esame di laurea.

#### Autonomia di giudizio (making judgements)

I laureati Magistrali devono:

- Essere in grado di effettuare autonomamente esperimenti, calcoli oppure simulazioni numeriche.
- Acquisire la capacità di eseguire ricerche bibliografiche e di selezionare i materiali interessanti, in particolare sul WEB.
- Essere in grado di assumersi le responsabilità sia della programmazione di progetti che della gestione di strutture.
- Avere raggiunto un adeguato livello di consapevolezza etico nella ricerca e nell'ambito delle attività professionali.

Tali capacità sono acquisite durante lo studio per la preparazione degli esami e durante la tesi, approfondendo alcuni argomenti specifici anche con la consultazione di articoli su riviste. La valutazione dell'autonomia di giudizio avverrà durante l'esame finale.

#### Abilità comunicative (communication skills)

I laureati Magistrali devono:

- Essere in grado di lavorare in un gruppo interdisciplinare.
- Essere in grado di presentare la propria ricerca o i risultati di una ricerca bibliografica ad un pubblico sia di specialisti che di profani.
- Avere una padronanza della lingua inglese tale da permettere l'interazione con ricercatori di altri paesi.

Tali abilità saranno acquisite durante i corsi e soprattutto durante la preparazione della tesi, inserendo gli studenti in gruppi di studio, con attività seminariali eventualmente anche in inglese. La verifica avverrà durante queste attività e nella prova finale.

#### Capacità di apprendimento (learning skills)

I laureati Magistrali devono:

- Essere in grado di affrontare nuovi campi attraverso uno studio autonomo.
- Acquisire la capacità di proseguire gli studi in un dottorato di ricerca o altre scuole di specializzazione.

Queste capacità vengono acquisite progressivamente durante gli insegnamenti, anche attraverso lo studio di specifici problemi di ricerca e durante il lavoro di tesi, affrontando nuovi campi di ricerca. Esse sono verificate in itinere durante gli esami.

### Ambiti occupazionali previsti per i laureati

- Accesso al Dottorato di Ricerca
- Fisico (in Università, Istituti di Ricerca) e in generale accesso alla carriera direttiva della Pubblica Amministrazione
- Fisico industriale (ad esempio in industrie che trattano microelettronica, nanotecnologie, materiali innovativi, telecomunicazioni, ottica, tecnologie informatiche)
- Professioni tecniche in servizi di protezione dalle radiazioni ed adroterapia
- Professioni correlate alle scienze informatiche (sviluppo di software, analisi economica e finanziaria e creazione di modelli)
- Biofisico
- Meteorologo

### **Struttura della didattica**

#### Frequenza

Gli insegnamenti hanno una durata semestrale e/o annuali.

#### Attività a scelta/Stage

Gli studenti potranno effettuare attività a scelta per 12 CFU. Nell'ambito di tale attività potranno anche effettuare un tirocinio (stage). Il lavoro di stage deve avere una durata minima di circa 150 ore, dà diritto a 6 crediti formativi (6 CFU) e sostituisce 1 esame a scelta libera. Lo stage può essere svolto:

1. presso docenti e laboratori di ricerca dell'Università di Roma Tor Vergata,
2. presso un laboratorio di ricerca esterno o azienda italiana,
3. presso una istituzione estera.

Come regola generale lo stage deve essere prima concordato con il Coordinatore del Corso di Studi (CdS), il quale dovrà:

- a. accertare la coerenza del percorso formativo di stage con il piano di studi prescelto dallo studente
- b. nominare per i casi 2. e 3. un docente interno responsabile della valutazione finale del lavoro di stage (per il caso 1. è automaticamente il docente presso cui viene svolto lo stage)
- c. mettere lo studente a conoscenza di tutte le formalità necessarie per lo svolgimento dello stage. Per i casi 2. e 3. sono necessari accordi preliminari scritti tra l'Università di Roma Tor Vergata e l'istituzione esterna
- d. informare lo studente sulle procedure per il riconoscimento e la valutazione dello stage.

Al completamento dello stage lo studente dovrà obbligatoriamente produrre e consegnare al docente responsabile una relazione scritta, in cui sarà descritto il lavoro svolto, gli obiettivi iniziali ed i risultati raggiunti. Nei casi 2. e 3. in cui lo stage è svolto esternamente all'Università è anche necessario presentare un attestato che ne certifichi l'effettivo svolgimento e la durata.

La documentazione richiesta dovrà essere consegnata al docente responsabile, il quale dopo un esame-colloquio con lo studente, esprimerà un voto sul lavoro svolto che comunicherà alla Commissione Didattica.

Nel caso 1 il docente responsabile dello svolgimento dello stage dovrà rilasciare allo studente un attestato con cui certifica la durata dello stage, lo svolgimento dell'esame-colloquio ed il voto sul lavoro svolto. Lo studente dovrà presentare tale documento alla Segreteria Studenti della Macroarea di Scienze e una copia alla Segreteria Didattica del Corso di Studio (Macroarea di Scienze) per il riconoscimento dei relativi crediti formativi.

### **Prova finale**

Per conseguire la Laurea Magistrale in Fisica è prevista una prova finale, il cui superamento comporta l'acquisizione del numero di crediti previsto dal curriculum prescelto.

La prova finale consiste nella presentazione e discussione di una tesi scritta, su un argomento attuale di ricerca proposto da un relatore, nel settore prescelto dallo studente.

Lo studente dovrà dare comunicazione dell'inizio del lavoro di tesi magistrale compilando il modulo disponibile sul sito della Macroarea di Scienze.

Lo studente dovrà presentare la domanda di laurea compilando il modulo disponibile sul sito Delphi (<http://delphi.uniroma2.it/totem/jsp/index.jsp>) almeno **20 giorni** prima della sessione di laurea, indicando il nome del docente relatore ed il titolo della tesi. Una copia del modulo dovrà essere consegnata presso la Segreteria Didattica del CdS (Macroarea di Scienze).

Una copia DVD della tesi dovrà essere consegnata presso la Segreteria Studenti almeno **8 giorni** prima della sessione di laurea. Due copie cartacee della tesi dovranno essere consegnate alla Segreteria Didattica del CdS **15 giorni** prima della sessione di laurea.

Appena avuta notizia della domanda di Laurea, il Coordinatore del CdS nominerà un secondo relatore, che valuterà la tesi e sarà invitato alla seduta di laurea.

La presentazione e discussione della tesi, eventualmente scritta in lingua inglese, ma con titolo e riassunto anche in italiano, avviene in seduta pubblica davanti ad una Commissione di cinque docenti che esprime la valutazione complessiva in centodecimi, eventualmente anche con la lode. La commissione esprime la propria valutazione tenendo conto della media dei voti riportati negli esami, del curriculum complessivo dello studente (comprese le lodi conseguite e le esperienze internazionali), del lavoro di tesi e della relativa discussione.

La media dei voti riportati negli esami sarà pesata con i relativi CFU acquisiti e trasformata in centodecimi.

La valutazione finale della commissione potrà essere fino a 9/110 più alta della media dei voti riportati negli esami.

Alla formazione della media contribuiscono:

- 1) gli esami (valutati con un voto) relativi alle attività formative:
  - a) di base; b) caratterizzanti e c) affini o integrative;
- 2) gli esami relativi alla attività formativa d) a scelta dello studente, limitatamente ai corsi di carattere scientifico, come da parere del CdD.

Nella formazione della media non si terrà conto dei voti più bassi, per un massimo di 6 CFU, se lo studente si laurea in corso.

La lode può essere attribuita, su proposta scritta del docente relatore, con voto unanime della commissione.

Agli studenti che superano i 112 punti può essere attribuita la lode, su proposta scritta del docente relatore, con voto unanime della commissione.

### **Proseguimento degli studi**

La Laurea Magistrale in Fisica consente l'iscrizione ai Corsi di Dottorato o Master di secondo livello.

### **Ordinamento degli Studi - Laurea Magistrale (D.M. 270/2004)**

I seguenti due corsi sono obbligatori per tutti i Curricula:

- il corso "Metodi Matematici della Fisica 2" in **italiano** per Fisica e Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia ed il corso "Mathematical Methods for Physics" in **inglese** per Astrofisica, Physics for Instrumentation and Technology e Physics of Complex Systems and Big Data.
- il corso "Meccanica Quantistica 2" in **italiano** per Fisica e Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia ed il corso "Quantum Mechanics" in **inglese** per Astrofisica, Physics for Instrumentation and Technology e Physics of Complex Systems and Big Data.

### **Legenda**

CFU = credito formativo universitario

SSD = Settore Scientifico Disciplinare

CdS = Corso di Studi

CdD = Consiglio di Dipartimento

[C] attività caratterizzanti, per un minimo di 40 CFU

[AI] attività affini e integrative, per un minimo di 12 CFU

[ASL] attività a scelta libera, per un minimo di 12 CFU

Nota: per sostenere gli esami contrassegnati con il numero 2 occorre aver già superato i rispettivi esami con il numero 1.

**I corsi sono tenuti in italiano o in inglese secondo la lingua del titolo del corso. Se il titolo è sia in italiano che in inglese, la lingua in cui verrà tenuto il corso sarà concordata con gli studenti.**

**Curriculum "ASTROFISICA"****Ordinamento valido per gli immatricolati dall'A.A. 2018/19****1° ANNO****I° semestre**

[C]	Fis/02	Mathematical Methods for Physics	8 cfu
[C]	Fis/02	Quantum Mechanics	8 cfu
[AI]	Fis/05	Extragalactic Astrophysics ( <i>Astrofisica Extragalattica</i> )	6 cfu
[AI]	Fis/05	Radiative Processes in Astrophysics ( <i>Processi Radiativi in Astrofisica</i> )	6 cfu

**II° semestre**

[C]	Fis/05	Relativity and Cosmology 1 (*) ( <i>Relatività e Cosmologia 1</i> )	6 cfu
[C]	Fis/01	Gravitational Physics ( <i>Fisica della Gravitazione</i> )	6 cfu
[AI]	Fis/05	Stellar Astrophysics ( <i>Astrofisica Stellare</i> )	6 cfu
[ASL]	---	Attività a scelta libera (v. nota 2)	6 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	4 cfu

**2° ANNO****I° semestre**

[C]	---	Corso a scelta Fis/03 o Fis/04 (v. nota 1)	6 cfu
[C]	Fis/01	Astrophysics Laboratory ( <i>Laboratorio di Astrofisica</i> )	8 cfu
[AI]	Fis/05	Relativity and Cosmology 2 ( <i>Relatività e Cosmologia 2</i> )	6 cfu
[ASL]	---	Attività a scelta libera (v. nota 2)	6 cfu

**II° semestre**

[- -]	---	Tesi	38 cfu
-------	-----	------	--------

*Totale Crediti 120*

Gli studenti immatricolati nell'A.A. 2017/18 e negli anni accademici precedenti seguiranno il curriculum previsto al momento della immatricolazione.

(\*) Se non già sostenuto, altrimenti un corso di SSD FIS/05

Nota 1

Questo corso deve avere Settore Scientifico Disciplinare (SSD) FIS/03 o FIS/04.



FIS/03 Fisica dei Plasmi (Physics of Plasmas) [II semestre]  
 FIS/03 Meccanica Statistica 2 (Statistical Mechanics 2) [II semestre]  
 FIS/03 Struttura della Materia 2 (Structure of Matter 2) [I semestre]  
 FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari 1 (Elementary Particles Physics 1) [II semestre]  
 FIS/04 Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare (Fundamentals of Nuclear and Subnuclear Physics) [I semestre]  
 FIS/04 Nuclear Sciences and Applications (Applicazioni di Fisica Nucleare) [II semestre]  
 FIS/04 Fisica Nucleare (Nuclear Physics) [I semestre]  
 FIS/04 Metodologie Sperimentali per la Ricerca dei Processi Rari (Underground Technologies) [II semestre]

#### Nota 2

Si ricorda che la legge [D.M. 270/2004, art. 10] prevede che queste attività siano "scelte autonomamente" dallo studente e siano "coerenti con il progetto formativo". Pur nel rispetto dell'autonomia di scelta, si segnalano i seguenti corsi di argomento astrofisico offerti dalla struttura didattica. I corsi sono da 6 CFU.

FIS/05 Astrobiology (*Astrobiologia*) [I semestre]  
 FIS/05 Astroparticle Physics (*Fisica delle Astroparticelle*) [II semestre]  
 FIS/05 Celestial Mechanics (*Meccanica Celeste*) [II semestre]  
 FIS/05 Experimental Gravitation with Laboratory (*Gravitazione Sperimentale*) [I semestre]  
 FIS/05 Gravitational Lensing [I semestre]  
 FIS/05 High Energy Astrophysics (*Astrofisica delle Alte Energie*) [I semestre]  
 FIS/05 Gravitational Waves (*Onde Gravitazionali*) [I semestre]  
 FIS/05 Stellar Populations (*Popolazioni Stellari*) [I semestre]  
 FIS/05 Sun and Space Climate (*Sole e Climatologia Spaziale*) [II semestre]

Nell'ambito delle attività a scelta è anche possibile effettuare un tirocinio per un massimo di 6 CFU.

I corsi del curriculum Astrofisica fanno anche parte del programma Erasmus Mundus "Astromundus" e sono svolti in Inglese. AstroMundus è un Corso Magistrale (Master) Erasmus Mundus di durata 2 anni (120 ECTS) in Astronomia ed Astrofisica, offerto da un consorzio fra le Università di Innsbruck, Roma Tor Vergata, Padova, Gottinga e Belgrado. L'obiettivo principale è fornire a studenti qualificati un'eccellente formazione in Astrofisica, per introdurli al mondo della moderna ricerca astrofisica ed incoraggiare la loro futura carriera in questo campo. Gli studenti AstroMundus conducono i loro studi in almeno 2 e fino a 4 università del consorzio, in un ambiente internazionale scientificamente eccellente. Gli studenti che completano il corso conseguono un titolo congiunto (Joint Master Degree) da tutte le università partner in cui hanno studiato. Il bando AstroMundus è solitamente pubblicato entro Settembre con scadenza Dicembre, per il Corso che inizia nel Settembre dell'anno successivo. Il bando è aperto a studenti di tutte le nazionalità che soddisfino i seguenti requisiti minimi: (i) possedere una laurea di primo livello (Laurea Triennale/Bachelor) in Fisica, Astronomia, Astrofisica o Matematica (o un titolo riconosciuto che certifichi un equivalente ammontare di conoscenze negli stessi campi, quantificato da 3 anni di studi corrispondenti almeno a 180 crediti nel sistema

europeo ECTS), o prevedere di ottenere tale titolo al massimo entro Agosto dell'anno di inizio del Corso; (ii) avere una buona e certificata conoscenza della lingua Inglese. I test e punteggi accettati sono elencati alla pagina <http://www.uibk.ac.at/astromundus/how.html>

E' previsto il finanziamento di un limitato numero di borse di studio da parte della Commissione Europea. Ulteriori informazioni sono disponibili nel sito AstroMundus (<http://www.astromundus.eu/>) e nella pagina dedicata locale a Roma Tor Vergata (<http://www.fisica.uniroma2.it/~tovastro/astromundus>)

\* \* \* \* \*

### Curriculum **FISICA**

Il curriculum Fisica si articola nei seguenti cinque piani di studio:

#### Piano di Studi "Elettronica e Cibernetica"

#### **1° ANNO**

##### **I° semestre**

[C]	Fis/02	Metodi Matematici della Fisica 2	9 cfu
[C]	Fis/02	Meccanica Quantistica 2	9 cfu
[C]	Fis/03	Struttura della Materia 2	6 cfu
[C]	Fis/04	Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare (*)	6 cfu
[AI]	Fis/01	Cibernetica	6 cfu

##### **II° semestre**

[C]	Fis/01	Laboratorio di Elettronica	8 cfu
[AI]	Fis/01	Elettronica 1 **	6 cfu
[AI]	---	1 esame a scelta da Elenco 2	6 cfu
[AI]	---	1 esame a scelta da Elenco 2	6 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	2 cfu

#### **2° ANNO**

##### **I° semestre**

[C]	---	1 esame a scelta da Elenco 1 (Fis/05 o Fis/06)	6 cfu
[ASL]	---	2 esami a scelta libera	12 cfu
[- -]	---	Tesi	8 cfu

##### **II° semestre**

[- -]	---	Tesi	30 cfu
-------	-----	------	--------

*Totale Crediti 120*

(\*) Se non già sostenuto, altrimenti un corso a scelta di Settore Scientifico Disciplinare FIS/03 o FIS/04 da Elenco 2

(\*\*) Se non già sostenuto, altrimenti un corso a scelta di Settore Scientifico Disciplinare FIS/01 da Elenco 2

**ELENCO 1 - CFU 6**

FIS/05 Fisica delle Astroparticelle [II semestre]

FIS/05 Gravitazione Sperimentale [I semestre]

FIS/05 Onde Gravitazionali [I semestre]

FIS/05 Relatività e Cosmologia 1 [II semestre]

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici [II semestre]

**ELENCO 2 - CFU 6 (se non altrimenti indicato)**

FIS/01 Acceleratori di Particelle (*Particle Acc. for Science and Interdisciplinary Applications*) [II semestre]

FIS/01 Elettronica 2 [II semestre]

FIS/01 Elettronica Digitale [I semestre]

FIS/01 Fisica Computazionale (8 cfu) [I semestre]

FIS/01 Fisica della Gravitazione (*Gravitational Physics*) [II semestre]

FIS/01 Microelettronica [II semestre]

FIS/01 Modellistica Numerica (8 cfu) [I semestre]

FIS/02 Fisica Teorica 1 [II semestre]

FIS/02 Fisica Teorica Specialistica [II semestre]

FIS/02 Teorie dei Campi e Particelle 1 [II semestre]

FIS/02 Teorie dei Campi e Particelle 2 [II semestre]

FIS/03 Fisica dei Dispositivi a Stato Solido [I semestre]

FIS/03 Fisica dei Plasmi [II semestre]

FIS/03 Fisica dei Solidi [II semestre]

FIS/03 Materiali e Fenomeni a Basse Temperature [I semestre]

FIS/03 Meccanica Statistica 2 [II semestre]

FIS/03 Teoria dei Solidi [I semestre]

FIS/03 Teoria Quantistica della Materia [II semestre]

FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari 1 [II semestre]

FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari 2 [I semestre]

FIS/04 Fisica Nucleare [I semestre]

FIS/04 Metodologie Sperimentali per la Ricerca dei Processi Rari [II semestre]

FIS/04 Nuclear Sciences and Applications [II semestre]

FIS/04 Radioattività (*Radioactivity*) [I semestre]

FIS/05 Astrofisica delle Alte Energie [I semestre]

FIS/05 Fisica delle Astroparticelle [II semestre]

FIS/05 Gravitazione Sperimentale [I semestre]

FIS/05 Relatività e Cosmologia 1 [II semestre]

FIS/05 Relatività e Cosmologia 2 [I semestre]

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici [II semestre]

FIS/07 Teoria dei Sistemi a Molti Corpi (8 CFU) [I semestre]

\* \* \* \* \*

Piano di Studi "Fisica dei Biosistemi"

**1° ANNO**

**I° semestre**

[C]	Fis/02	Metodi Matematici della Fisica 2	9 cfu
[C]	Fis/02	Meccanica Quantistica 2	9 cfu
[C]	Fis/03	Struttura della Materia 2	6 cfu
[AI]	Fis/07	Fisica Biologica 1 (*)	6 cfu

**II° semestre**

[C]	---	1 esame a scelta da Elenco 2	6 cfu
[AI]	---	1 esame a scelta da Elenco 3	6 cfu
[AI]	Fis/07	Laboratorio di Fisica Biologica	6 cfu
[ASL]	---	1 esame a scelta libera	6 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	2 cfu

**2° ANNO**

**I° semestre**

[C]	Fis/07	Teoria dei Sistemi a Molti Corpi	8 cfu
[C]	---	1 esame a scelta da Elenco 1	6 cfu
[AI]	Fis/07	Fisica Biologica 2	6 cfu
[ASL]	---	1 esame a scelta libera	6 cfu

**II° semestre**

[- -]	---	Tesi	38 cfu
-------	-----	------	--------

*Totale Crediti 120*

(\*) Se non già sostenuto, altrimenti un corso a scelta dall'Elenco 3

**ELENCO 1 (FIS/03-FIS/04):**

FIS/03 Fisica dei Liquidi e dei Sistemi Disordinati [I semestre]

FIS/03 Fisica del Neutrone e Applicazioni [II semestre]

FIS/03 Teoria Quantistica della Materia [II semestre]

FIS/04 Nuclear Sciences and Applications [II semestre]

FIS/04 Radioattività (*Radioactivity*) [I semestre]

**ELENCO 2:**

FIS/05 Relatività e Cosmologia 1 [II semestre]

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici [II semestre]

**ELENCO 3:**

FIS/01 Misure ed Analisi di Biosegnali (*Measurement and Analysis of Biosignals*) [II semestre]

FIS/02 Teorie dei Campi e Particelle 1 [II semestre]

FIS/03 Fisica dei Plasmi [II semestre]

FIS/04 Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare [I semestre]

FIS/05 Relatività e Cosmologia 2 [I semestre]

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici [II semestre]

FIS/07 Ionizing Radiation for Medical Physics [II semestre]

FIS/07 Fisica Medica [II semestre]

FIS/01 Laboratorio di Elettronica [II semestre]

Chimica

SSD Chim/02 Chimica Fisica con Laboratorio (10 cfu)

Biologia

SSD Bio/10 Biochimica (8 cfu)

SSD Bio/10 Chimica Biologica (9 cfu)

SSD Bio/11 Biologia Molecolare (8 cfu)

SSD Bio/18 Genetica di Base e Tecnologie Genetiche (7 cfu)

\* \* \* \* \*

Piano di Studi "Struttura della Materia"**1° ANNO****I° semestre**

[C]	Fis/02	Metodi Matematici della Fisica 2	9 cfu
[C]	Fis/02	Meccanica Quantistica 2	9 cfu
[C]	Fis/03	Struttura della Materia 2	6 cfu
[C]	- - -	1 esame a scelta da Elenco 2	6 cfu

**II° semestre**

[C]	Fis/03	Fisica dei Solidi	6 cfu
[AI]	Fis/03	Teoria Quantistica della Materia	6 cfu
[AI]	- - -	1 esame a scelta da Elenco 1	6 cfu
[ASL]	- - -	un corso a scelta libera	6 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	2 cfu

**2° ANNO****I° semestre**

[AI]	Fis/03	Teoria dei Solidi	6 cfu
[AI]	- - -	1 esame a scelta da Elenco 1	6 cfu
[ASL]	- - -	un corso a scelta libera	6 cfu
[- -]	- - -	Tesi	10 cfu

**II° semestre**

[C]	Fis/01	Laboratorio di Fisica della Materia	8 cfu
[- -]	- - -	Tesi	28 cfu

*Totale Crediti 120***ELENCO 1 - 6 Cfu (se non altrimenti indicato)**

FIS/01 Cibernetica [I semestre]

FIS/02 Supersimmetria [I semestre]

FIS/03 Complementi di Ottica [II semestre]

FIS/03 Fisica dei Dispositivi a Stato Solido [I semestre]

FIS/03 Fisica dei Liquidi e dei Sistemi Disordinati [I semestre]

FIS/03 Fisica dei Sistemi a Bassa Dimensionalità [I semestre]

FIS/03 Fisica del Neutrone e Applicazioni [II semestre]

FIS/03 Introduzione alla Crescita dei Cristalli [I semestre]

FIS/03 Materiali e Fenomeni a Basse Temperature [I semestre]

FIS/03 Microscopia e Nanoscopia [I semestre]

FIS/03 Ottica Quantistica [II semestre]

FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari 1 [II semestre]

FIS/04 Fisica Nucleare [I semestre]

FIS/04 Nuclear Sciences and Applications [II semestre]

FIS/05 Gravitazione sperimentale [I semestre]

BIO/10 Biochimica [I semestre]

**ELENCO 2**

Corso a scelta FIS/05 o FIS/06

FIS/05 Processi Radiativi in Astrofisica [I semestre]

FIS/05 Relatività e Cosmologia 1 [II semestre]

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici [II semestre]

\*\*\*\*\*

Piano di Studi "Fisica Nucleare e Subnucleare"

**1° ANNO**

**I° semestre**

[C]	Fis/02	Metodi Matematici della Fisica 2	9 cfu
[C]	Fis/02	Meccanica Quantistica 2	9 cfu
[C]	Fis/03	Struttura della Materia 2	6 cfu
[C]	Fis/04	Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare (*)	6 cfu

**II° semestre**

[C]	---	1 esame a scelta da Elenco 1	6 cfu
[AI]	Fis/04	Fisica delle Particelle Elementari 1	6 cfu
[AI]	---	1 esame a scelta da Elenco 2	6 cfu
[ASL]	---	un corso a scelta libera	6 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	2 cfu

**2° ANNO**

**I° semestre**

[AI]	Fis/04	Fisica Nucleare	6 cfu
[C]	Fis/01	Laboratorio di Fisica Nucleare e Subnucleare <i>(Laboratory of Nuclear and Subnuclear Physics)</i>	8 cfu
[AI]	---	1 esame a scelta da Elenco 2	6 cfu
[ASL]	---	un corso a scelta libera	6 cfu
[- -]	---	Tesi	6 cfu

**II° semestre**

[- -]

---

Tesi

32 cfu

*Totale Crediti 120*

(\*) Se non già sostenuto, altrimenti un corso a scelta di Settore Scientifico Disciplinare FIS/O4 da Elenco 2

**ELENCO 1 - CFU 6**

FIS/O5 Fisica delle Astroparticelle [II semestre]

FIS/O5 Gravitazione Sperimentale [I semestre]

FIS/O5 Relatività e Cosmologia 1 [II semestre]

FIS/O5 Onde Gravitazionali [I semestre]

FIS/O6 Fisica dei Sistemi Dinamici [II semestre]

**ELENCO 2 - CFU 6 (se non altrimenti indicato)**FIS/O1 Acceleratori di Particelle (*Particle Acc. for Science and Interdisciplinary Applications*) [II semestre]

FIS/O1 Elettronica 1 [II semestre]

FIS/O1 Elettronica 2 [II semestre]

FIS/O1 Fisica Computazionale (8 CFU) [I semestre]

FIS/O1 Fisica della Gravitazione (*Gravitational Physics*) [II semestre]

FIS/O2 Fenomenologia delle Particelle Elementari [II semestre]

FIS/O2 Fisica Teorica 1 [II semestre]

FIS/O2 Fisica Teorica Specialistica [II semestre]

FIS/O2 Introduzione alle Teorie di Stringhe [II semestre]

FIS/O2 Supersimmetria [I semestre]

FIS/O2 Teoria dei Campi e Particelle 1 [II semestre]

FIS/O2 Teoria dei Campi e Particelle 2 [II semestre]

FIS/O2 Teorie Relativistiche e Supergravità [I semestre]

*Tra i corsi FIS/O2 si consiglia il corso Teoria dei Campi e Particelle 1*

FIS/O3 Fisica dei Plasmi [II semestre]

FIS/O3 Fisica dei Solidi [II semestre]

FIS/O3 Fisica del Neutrone e Applicazioni [II semestre]

FIS/O3 Materiali e Fenomeni a Basse Temperature [I semestre]

FIS/O3 Meccanica Statistica 2 [II semestre]

FIS/O3 Teoria dei Solidi [I semestre]

FIS/O3 Teoria Quantistica della Materia [II semestre]



- FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari 2 [I semestre]  
 FIS/04 Metodologie Sperimentali per la Ricerca dei Processi Rari [II semestre]  
 FIS/04 Nuclear Sciences and Applications [II semestre]  
 FIS/04 Radioattività (Radioactivity) [I semestre]  
  
 FIS/05 Astrofisica delle Alte Energie [I semestre]  
 FIS/05 Fisica delle Astroparticelle [II semestre]  
 FIS/05 Gravitazione Sperimentale [I semestre]  
 FIS/05 Relatività e Cosmologia 1 [II semestre]  
 FIS/05 Relatività e Cosmologia 2 [I semestre]  
  
 FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici [II semestre]  
  
 FIS/07 Fisica Biologica 1 [I semestre]  
 FIS/07 Teoria dei Sistemi a Molti Corpi (8 CFU) [I semestre]

\* \* \* \* \*

Piano di Studi "Fisica Teorica"

**1° ANNO**

**I° semestre**

[C]	Fis/02	Metodi Matematici della Fisica 2	9 cfu
[C]	Fis/02	Meccanica Quantistica 2	9 cfu
[C]	Fis/03	Struttura della Materia 2	6 cfu
[C]	---	Corso a scelta da Elenco 1	6 cfu

**II° semestre**

[AI]	Fis/02	Fisica Teorica 1 (*)	6 cfu
[C]	---	1 esame a scelta da Elenco 2	6 cfu
[AI]	---	un corso FIS/02	6 cfu
[AI]	---	Corso (**)	6 cfu
[AI]	---	Corso (**)	6 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	2 cfu

**2° ANNO**

**I° semestre**

[C]	---	Corso a scelta da Elenco O	8 cfu
[ASL]	---	2 esami a scelta libera	12 cfu
[- -]	---	Tesi	8 cfu

**II° semestre**

[- -]     - - -     Tesi     30 cfu

*Totale Crediti 120*

(\*) Se non già sostenuto, altrimenti un corso a scelta da Elenco 3

(\*\*) Per il percorso "Alte Energie" i corsi di "Teoria dei Campi e Particelle 1 e 2".

Per il percorso "Meccanica Statistica" il corso di "Meccanica Statistica 2" e un corso a scelta da Elenchi 0, 1, 2, 3.

**ELENCO 0 - CFU 8**

FIS/01 Fisica Computazionale [I semestre]

FIS/01 Fisica dei Fluidi Complessi e Turbolenza [I semestre]

FIS/01 Laboratorio di Fisica Nucleare e Subnucleare (*Laboratory of Nuclear and Subnuclear Physics*) [I semestre]

FIS/01 Modellistica Numerica [I semestre]

FIS/07 Teoria dei Sistemi a Molti Corpi [I semestre]

**ELENCO 1- CFU 6**

FIS/03 Fisica dei Solidi [II semestre]

FIS/03 Meccanica Statistica 2 [II semestre]

FIS/03 Teoria dei Solidi [I semestre]

FIS/03 Teoria Quantistica della Materia [II semestre]

FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari 1 [II semestre]

FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari 2 [I semestre]

FIS/04 Fisica Nucleare [I semestre]

FIS/04 Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare [I semestre]

**ELENCO 2 - CFU 6**

FIS/05 Fisica delle Astroparticelle [II semestre]

FIS/05 Relatività e Cosmologia 1 [II semestre]

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici [II semestre]

**ELENCO 3 - CFU 6**

FIS/01 Gravitational Physics (*Fisica della Gravitazione*) [II semestre]

FIS/02 Fenomenologia delle Particelle Elementari [II semestre]

FIS/02 Fisica Teorica Specialistica [II semestre]

FIS/02 Introduzione alle Teorie di Stringhe [II semestre]

FIS/02 Supersimmetria [I semestre]

FIS/02 Teorie Relativistiche e Supergravità [I semestre]

FIS/03 Fisica dei Solidi [II semestre]

FIS/03 Meccanica Statistica 2 [II semestre]

FIS/03 Teoria dei Solidi [I semestre]

FIS/03 Teoria Quantistica della Materia [II semestre]

FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari 1 [II semestre]

FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari 2 [I semestre]

FIS/04 Fisica Nucleare [I semestre]

FIS/04 Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare [I semestre]

FIS/04 Nuclear Sciences and Applications [II semestre]

FIS/05 Gravitazione Sperimentale [I semestre]

FIS/05 Relatività e Cosmologia. 1 [II semestre]

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici [II semestre]

FIS/07 Fisica Biologica 1 [I semestre]

FIS/07 Fisica Biologica 2 [I semestre]

\* \* \* \* \*

**Curriculum "Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia"****1° ANNO****I° semestre**

[C]	Fis/02	Metodi Matematici della Fisica 2	9 cfu
[C]	Fis/02	Meccanica Quantistica 2	9 cfu
[C]	Fis/03	Struttura della Materia 2	6 cfu
[C]	Fis/01	Fisica Computazionale	8 cfu

**II° semestre**

[C]	Fis/06	Fisica dei Sistemi Dinamici	6 cfu
[AI]	Fis/06	Laboratorio di Fisica dell'Atmosfera	8 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	2 cfu
[ASL]	---	1 esame a scelta libera	6 cfu

**2° ANNO****I° semestre**

[C]	---	Un corso di SSD Fis/03	6 cfu
[AI]	Fis/01	Fisica dei Fluidi Complessi e Turbolenza	8 cfu
[AI]	Fis/06	Telerilevamento	8 cfu
[ASL]	---	1 esame a scelta libera	6 cfu

**II° semestre**

[- -]	---	Tesi	38 cfu
-------	-----	------	--------

*Totale Crediti 120*

Tra gli esami a scelta libera si raccomanda di scegliere almeno uno dei corsi seguenti:

Chemodinamica dell'Atmosfera (FIS/06 - 8 cfu) [I semestre]

Modellistica Numerica (FIS/01 - 8 cfu) [I semestre]

Oceanografia (FIS/06 - 6 cfu) [I semestre]

E' in atto una convenzione tra l'Aeronautica Militare e l'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" in base alla quale i corsi del curriculum in Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia della Laurea Magistrale in Fisica, insieme con specifici corsi organizzati dall'A.M., daranno la possibilità a cinque nostri studenti di conseguire il titolo di Meteorologo (conferito dalla AM), in aggiunta al diploma di Laurea Magistrale in Fisica. L'accordo prevede anche che cinque dipendenti dell'Aeronautica Militare possano seguire senza oneri 7 corsi caratteristici del Curriculum in Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia per conseguire, insieme con gli specifici corsi organizzati dall'A.M., il titolo di Meteorologo. L'attivazione di tale per l' A.A. 2018/19 è in via di definizione.

## Curriculum "Physics for Instrumentation and Technology"

Il curriculum Physics for Instrumentation and Technology si articola in quattro piani di studio, che comprendono corsi comuni, corsi da scegliere da elenchi e corsi a scelta libera, secondo lo schema seguente:

### 1° ANNO

#### I° semestre

[C]	Fis/O2	Mathematical Methods for Physics	8 cfu
[C]	Fis/O2	Quantum Mechanics	8 cfu
[AI]	Mat/O6	Statistical Techniques for Science and Technology	6 cfu
[ASL]	---	1 esame a scelta libera	6 cfu

#### II° semestre

[C]	Fis/O1	Electronics	8 cfu
[AI]	---	2 esami a scelta da Elenco	12 cfu
[AI]	Fis/O4	Nuclear Sciences and Applications	6 cfu
[ASL]	---	1 esame a scelta libera	6 cfu

### 2° ANNO

#### I° semestre

[C]	Fis/O3	Materials Sciences	8 cfu
[AI]	---	1 corso a scelta da Elenco	6 cfu
[- -]	---	Tesi	10 cfu

#### II° semestre

[C]	Fis/O1	Modern Applied Physics	8 cfu
[- -]	---	Italiano o Inglese	2 cfu
[- -]	---	Tesi	26 cfu

*Totale Crediti 120*

I corsi Materials Sciences, Electronics, Modern Applied Physics, comprendono 2 CFU di laboratorio.

Gli elenchi tra cui scegliere sono diversi per i diversi piani di studio.

#### 1. Piano di Studi "Detectors"

ELENCO 1 - 6 CFU (se non altrimenti indicato)

FIS/O1 Laboratory of Nuclear and Subnuclear Physics [Cfu 6+2 (Lab)] [I semestre]

FIS/O1 Particle Accelerators for Science and Interdisciplinary Applications [II semestre]

FIS/O1 Space Instruments [I semestre]

FIS/04 Radioactivity [I semestre]

FIS/04 Underground Technologies (*Mutuato dal corso di Metodologie Sperimentali per la Ricerca dei Processi Rari*) [II semestre]

**2. Piano di Studi "Radioprotection and Hadrotherapy"**

ELENCO 2 - 6 Cfu

FIS/04 Radioactivity [I semestre]

FIS/07 Ionizing Radiation for Medical Physics [II semestre]

--- Stage

**3. Piano di Studi "Innovative Materials"**

ELENCO 3 - 6 Cfu

FIS/03 Advanced Characterization of Materials: Techniques and Applications [I semestre]

BIO/10 Biomacromolecules and Biochemical Processes [II semestre]

--- Stage

**4. Piano di Studi "Neutron Physics and Instrumentation"**

ELENCO 4 - 6 Cfu

FIS/03 Neutron Physics and Neutron Instrumentation [II semestre]

FIS/03 Physics of Liquids and Disordered Systems (*Fisica dei Liquidi e dei Sistemi Disordinati*) [I semestre]

--- Stage

\*\*\*\*\*

## Curriculum "Physics of Complex Systems and Big Data"

### 1° ANNO

#### I° semestre

[C]	Fis/02	Mathematical Methods for Physics	8 cfu
[C]	Fis/02	Quantum Mechanics	8 cfu
[C]	Fis/03	Materials Sciences	8 cfu
[ASL]	---	1 esame a scelta libera	6 cfu

#### II° semestre

[AI]	Fis/02	Optimization and Statistical Mechanics	8 cfu
[AI]	Fis/02	Complex and Neural Networks	8 cfu
[ASL]	---	1 esame a scelta libera	6 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese o Italiano	2 cfu

### 2° ANNO

#### I° semestre

[C]	Fis/01	Advanced Statistics	10 cfu
[C]	Fis/05	Digital Data Analysis	8 cfu
[AI]	---	1 corso a scelta da Elenco	9 cfu

#### II° semestre

[- -]	---	Tesi	39 cfu
-------	-----	------	--------

*Totale Crediti 120*

ELENCO 1 - 9 CFU

INF/01 Data Modeling and Applications (CFU 6 + 3) [I e II semestre]

FIS/01 Computational Physics [I semestre]

INF/01 Machine Learning (Mutuato dal Corso di Laurea in Informatica) [II semestre]

ING-INF/05 Web Mining And Retrieval (Mutuato dal Corso di Laurea in ICT and Internet Engineering) [I semestre]

ING-INF/05 Internet Services Performance (Mutuato dal Corso di Laurea in ICT and Internet Engineering) [I semestre]

\* \* \* \* \*

## Programmi degli insegnamenti

### **ADVANCED CHARACTERIZATION OF MATERIALS: TECHNIQUES AND APPLICATIONS (6 CFU)**

*Prof.<sup>ssa</sup> Anna Sgarlata*

*Mutuato dal corso di Microscopia e Nanoscopia - CdLM in Scienza e Tecnologia dei Materiali*

Introduction to Science and Technology at the nanoscale. Techniques for Ultra High Vacuum and Surface Structure of Solid Surfaces. Scanning Probe Microscopy : in particular Scanning Tunnel Microscopy (STM) in Vacuum and in liquid (EC\_STM) and Atomic Force Microscopy . In particular we have identified the theoretical principles, the experimental apparatus and the analysis of data and possible information deducible from different acquisition techniques.

Electron Microscopy: in particular transmission (TEM) and scanning (SEM). The Ion Spectroscopic techniques such as Focused Ion Beam(FIB ). Optical techniques sensitive to the surface ( Epioptics ) such as Reflectance Anisotropic Spectroscopy (RAS) and Raman Spectroscopy . Finally a look at the modern techniques of lithography at the nanoscale , such as nanolithography and self assembled techniques for the nanostructuring .

### **CARATTERIZZAZIONE AVANZATA DEI MATERIALI: TECNICHE ED APPLICAZIONI**

*Introduzione alla Scienza e Tecnologia su scala Nanometrica. Tecniche di Superficie in Ultra Alto Vuoto e Struttura delle Superfici Solide. La Microscopia di sonda a Scansione: in particolare la Microscopia a Scansione a Effetto Tunnel, in Vuoto e in Liquido (EC\_STM) e La Microscopia a Forza Atomica. In particolare sono individuati i principi teorici di funzionamento , l'apparato sperimentale e l'analisi dei dati e delle possibili informazioni deducibili dalle diverse tecniche di acquisizione. La Microscopia Elettronica : in particolare in Trasmissione (TEM) e in Scansione (SEM). Le Tecniche spettroscopiche basate sull'utilizzo dei fasci ionici quali il Cannone a Ioni Focalizzato (FIB). Le tecniche Ottiche sensibili alla superficie (Epiottica) quali la Spettroscopia di Riflettività Anisotropa (RAS) e la spettroscopia RAMAN. Per finire uno sguardo alle moderne tecniche di litografia su scala nanometrica quali la Nanolitografia basata sull'Autorganizzazione e la Nanostrutturazione Artificiale e Naturale dei materiali e delle Nanostrutture.*

\* \* \* \* \*

### **ASTROBIOLOGY (6 Cfu)**

*Prof. Amedeo Balbi*

- Introduction to astrobiology.
- The universe and the cosmic environment
- The formation of chemical elements
- Star formation and hypotheses on the origin of planetary systems
- Requirements for life as we know it
- Prebiotic chemistry, molecular evolution and cellular life



- Extremophiles and the search for life on other planets
- Space as an extreme environment.
- Experiments in Low Earth Orbit (Expose and Biopan)
- The litopanspermia
- Searching for life in the solar system: Mars, Europa, Enceladus, Titan
- Searching for life outside the solar system.
- Exoplanets
- SETI

### **ASTROBIOLOGIA**

- *Introduzione all'astrobiologia.*
- *L'universo e l'ambiente cosmico*
- *La formazione degli elementi chimici*
- *Formazione stellare e ipotesi sull'origine dei sistemi planetari*
- *Requisiti per la vita come noi la conosciamo*
- *Chimica prebiotica, evoluzione molecolare e vita cellulare*
- *Estremofili e la ricerca di vita in altri pianeti*
- *Lo spazio come ambiente estremo.*
- *Esperimenti in bassa orbita terrestre (Expose e Biopan)*
- *La litopanspermia*
- *Ricerca di vita fuori del sistema solare.*
- *Pianeti extrasolari*
- *SETI*

\* \* \* \* \*

### **ASTROPHYSICS LABORATORY (8 Cfu)**

*Dott. Luca Giovannelli*

Elements of applied optics: real systems, calculation of the achromatic doublet, lens systems. Telescopes and focal plane instruments: main optical schemes, coronagraphs, mounts, derotators, imaging spectrometers. Outline of X-ray, Gamma-ray and radioastronomy optics. Photometry: filters, photometric systems, color index, distance modulus, distance, color correction. Detectors: calibration of photographic plates, CCD, CMOS, Hybrid. Cryogenic systems for IR. Monitoring and sampling electronics. Calibration techniques (PHT). Science communications: How to write a scientific paper; Preparing a scientific talk, writing a poster.

Laboratory practice: sensors: calibration of a CCD (linearity and Photon Transfer technique). Solar Center-to Limb Darkening; The Michelson Interferometer; Data analysis and data reduction of a X-ray telescope

### **LABORATORIO DI ASTROFISICA**

*Cenni di ottica applicata: sistemi reali, calcolo del doppietto acromatico, sistemi di lenti. I telescopi e gli strumenti di piano focale: i principali schemi ottici, coronografi, montature, derotatori, spettrometri per immagini. Cenni di ottiche X e Gamma e di radioastronomia. Fotometria: filtri, sistemi*

fotometrici, indice di colore, modulo di distanza, distanze, correzione per colore. I rivelatori: calibrazione delle lastre fotografiche, CCD, CMOS, Ibridi. Sistemi criogenici per IR. Elettroniche di controllo e campionamento. Tecniche di calibrazione (PHT). Comunicazione scientifica: Scrittura di un articolo scientifico, Preparazione di una presentazione scientifica; preparazione di un poster. Esperienze di laboratorio: sensori: calibrazione di un CCD (linearità e tecnica della Photon Transfer); Misura dell'effetto Centro-Lembo; L'interferometro di Michelson; Analisi dati da telescopi X

\* \* \* \* \*

### **BIOCHIMICA (8 Cfu)**

Prof.<sup>ssa</sup> Maria Rosa Ciriolo – Prof.<sup>ssa</sup> Luisa Rossi

Proteine (aminoacidi, struttura e funzione delle proteine, motori molecolari). Lipidi (acidi grassi, fosfolipidi, colesterolo). Carboidrati (monomeri, polimeri). Enzimi (attività catalitica, regolazione, coenzimi, inibitori). Membrane (struttura e caratteristiche, funzione, canali e pompe). Metabolismo dei carboidrati (glicolisi, via del pentoso fosfato, gluconeogenesi, glicogeno). Metabolismo dei grassi e degli aminoacidi (ossidazione e sintesi, ciclo dell'urea, ciclo dell'azoto). Fosforilazione ossidativa (ciclo dell'acido citrico, ciclo del gliossilato, la catena respiratoria, fotosintesi). Regolazione del metabolismo.

\* \* \* \* \*

### **BIOLOGIA MOLECOLARE (8 Cfu)**

Prof.<sup>ssa</sup> Manuela Helmer Citterich

Il DNA come materiale genetico. Struttura chimica, struttura fisica e superstrutture del DNA e dell'RNA. Codice genetico. Traduzione: meccanismo e regolazione. Replicazione del DNA e suo controllo. Organizzazione ed evoluzione di geni e genomi. Cromosomi, cromatina e nucleosomi. Trascrizione e sua regolazione: promotori, RNA polimerasi, fattori di trascrizione. Maturazione, splicing ed editing dell'RNA. Controlli globali e regolazioni complesse.

\* \* \* \* \*

### **MACROMOLECOLE E PROCESSI BIOCHIMICI (6 Cfu)**

Prof.<sup>ssa</sup> Sonia Melino

Mutuato dal corso di Macromolecole e Processi Biochimici - CdLM in Scienza e Tecnologia dei

#### Materiali

Il corso guida lo studente verso la conoscenza delle basi molecolari dei processi biologici che avvengono all'interno della cellula. Particolare attenzione è data allo studio delle macromolecole biologiche (lipidi, proteine, nucleicacids), della loro struttura e della loro funzione. Il corso prevede anche lo studio di alcuni processi metabolici, quali quelli che portano all'produzione di energia ed alla sintesi delle proteine, e la loro regolazione. Inoltre, sono trattati alcuni particolari argomenti quali la contrazione muscolare e la produzione di arti artificiali, il sistema sensoriale visivo, le basi biologiche dell'ingegneria tissutale, l'utilizzo di macromolecole biologiche (acidi nucleici e proteine) per la produzione di microchip (microarray).

Programma: Replicazione e Trascrizione del DNA; Sintesi Proteica Eucariotica; Aminoacidi e legame peptidico; Struttura e Funzione delle Proteine (Proteine Globulari e Fibrose); Proteine

allosteriche (Emoglobina); Enzimi e cenni di Cinetica enzimatica; Regolazione enzimatica; Coenzimi e Vitamine; Processi Metabolici per la produzione di energia (glicolisi, ciclo dei TCA, fosforilazione ossidativa); Sistemi sensoriali (trasduzione del segnale visivo); Contrazione Muscolare e cenni su Muscoli Artificiali (EAP); Matrice extracellulare e cenni di Ingegneria Tissutale; Microchip con macromolecole biologiche (Microarray DNA e Proteine), Produzione di proteine ricombinanti principi generali. Esercitazioni: espressione e caratterizzazione di proteine ricombinanti; preparazione di biomateriali per la rigenerazione tissutale; utilizzo di banche dati ed algoritmi predittivi per lo studio della struttura e funzione delle macromolecole biologiche.

### **MACROMOLECULES AND BIOCHEMICAL PROCESSES**

*The course provides the understanding of the molecular events of the biological processes and the study of the structure and function of the biological macromolecules (lipids, proteins, nucleic acids). The following topics will be addressed: the organization of the cell, lipids and biological membranes, nucleic acids and genetic code, DNA replication and transcription, control of gene expression, proteinsynthesis in eukarioticsystem, amino acids and their properties, the shape and structure of proteins, protein function, enzymes and their regulation, allosteric proteins, hemoglobin and oxygen transport, vitamins and coenzymes, bioenergetic processes in the cell, signal transduction and visual system, molecular motors, extracellular matrix and tissue engineering, biomacromolecular microchips (Microarray of DNA and proteins). Experiences in laboratory on the main techniques for the study end the characterization of the bio-macromolecules and on the preparation of scaffold for tissue regeneration.*

\* \* \* \* \*

### **CELESTIAL MECHANICS (6 Cfu)**

*Dott. Giuseppe Pucacco*

Review of hamiltonian mechanics. Integrability, first integrals, simmetries. Non-integrability, instability, chaos. Analytical and numerical methods for the study of hamiltonian dynamical systems. Two-body problem. Three-body problem. N-body problem. Motion in assigned potentials.

### **MECCANICA CELESTE**

*Richiami di Meccanica Hamiltoniana. Integrabilità, integrali primi, simmetrie. Non integrabilità, instabilità, caos. Metodi analitici e numerici per lo studio di sistemi dinamici Hamiltoniani. Problema dei due corpi. Problema dei tre corpi. Problema degli N corpi. Moto in potenziali assegnati.*

\* \* \* \* \*

### **CHEMODINAMICA DELL'ATMOSFERA (8 Cfu)**

*Dott.<sup>ssa</sup> Francesca Costabile*

Il corso è suddiviso in quattro moduli:

- I. Composizione dell'atmosfera e inquinamento atmosferico: inquinanti gassosi in tracce ed aerosol.
- II. Dinamiche di formazione e crescita (nucleazione, coagulazione e condensazione) e proprietà microfisiche delle particelle di aerosol troposferico. Dinamiche (emissione, trasporto, diffusione e

rimozione) dei composti gassosi in tracce in troposfera.

III. Interazione di composti gassosi ed aerosol con la radiazione: natura del materiale assorbente e scatterante in troposfera.

IV. Interazioni fra inquinamento atmosferico, salute dell'uomo e clima.

**CHEMODYNAMICS OF THE ATMOSPHERE**

*The course includes four modules (lectures + computer lab):*

- I. Atmospheric composition: gaseous trace pollutants and aerosol.*
- II. Tropospheric aerosol: micro-physical properties (size distributions), and dynamics of formation and growth (nucleation, coagulation, condensation). Trace gaseous compounds: dynamics (formation, transport, diffusion, and removal) in the troposphere.*
- III. Interaction of gaseous compounds and aerosol with radiation: the nature of light absorbing and scattering material in the troposphere.*
- IV. Experimental data analysis (MATLAB® will be used).*

Testi consigliati:

*Seinfeld, J.H, Pandis, S.N., 2008. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change .2006, John Wiley&Sons.*

\* \* \* \* \*

**CIBERNETICA (6 Cfu)**

*Dott. Alessandro Drago*

Definizione della cibernetica. Aspetti interdisciplinari e sviluppi della cibernetica. Norbert Wiener e Alan Turing. Generalità: controllo e comunicazione; macchine che imparano; test di Turing; intelligenza artificiale; sistemi esperti. Generalità e classificazione dei sistemi. Sistemi lineari e stazionari (sistemi LTI): rappresentazione matematica e caratterizzazione nel dominio del tempo. Evoluzione libera e risposta forzata. Metodo del nucleo risolvete (funzione di Green). Risposte indici nel dominio del tempo (impulso e gradino). Caratterizzazione sistemi LTI nel dominio della frequenza. Metodo simbolico. Serie e trasformata di Fourier. Trasformata di Laplace. Funzione di trasferimento. Rappresentazione delle funzioni di trasferimento nel dominio di s. Sistemi a costanti distribuite. Rappresentazione delle funzioni di trasferimento nel dominio di  $\omega$ . Relazioni fra i diagrammi di ampiezza e di fase. Sistemi a sfasamento minimo, legge di Bode. Comportamento asintotico delle funzioni di trasferimento nel dominio della frequenza. Rappresentazione grafica mediante diagrammi di Nyquist e di Bode. Introduzione al linguaggio di programmazione MATLAB con particolare riguardo alle funzioni della Control System Toolbox. Rappresentazione di un sistema LTI nello spazio degli stati. Identificazione dei sistemi. Identificazione nel dominio della frequenza e nel dominio del tempo. Identificazione mediante i diagrammi di Bode, mediante ispezione diretta e con il metodo di Prony. Reazione negativa e sistemi di controllo: introduzione, la controreazione, la reazione positiva, funzione di trasferimento. Criteri di stabilità: criteri di stabilità a ciclo chiuso e a ciclo aperto. Margini di stabilità. Prestazioni ed errori dei sistemi di controllo. Tecniche di progetto. Teoria della probabilità: definizioni, probabilità condizionali, esperimenti composti. Variabili casuali, funzioni di una variabile casuale, funzioni di più variabili casuali. Processi stocastici. Funzioni di

correlazione. Misura delle funzioni di correlazione. Spettri di potenza. Processi stazionari. Processi ergodici. Processi di Markov. Teoria dell'informazione: definizioni. Sorgente, canale, ricevitore. Teoremi di Shannon, canale discreto con rumore. canale continuo con rumore.

### **CYBERNETICS**

*Definition of cybernetics. Interdisciplinary aspects and developments of cybernetics. Norbert Wiener and Alan Turing. Generality about control and communication, learning machines, Turing test, artificial intelligence, expert systems. Generality and classification of the systems. Linear and time invariant systems (LTI systems): mathematical representation and the time domain characterization. Coasting and forced response. Green function method. Responses in time domain (impulse and step). Characterization of LTI systems in frequency domain. Symbolic method. Series and Fourier transform. Laplace transform. Transfer function. Representation of transfer functions in the s domain. Systems with distributed constants. Representation of transfer functions in the domain of w. Relations between the diagrams of amplitude and phase. Minimum phase systems, Bode's law. Asymptotic behavior of the transfer functions in the frequency domain. Graphics representation by using Nyquist and Bode diagrams. Introduction to MATLAB programming language with particular regard to the functions of the Control System Toolbox. LTI system representation by state space method. System identification. Identification in frequency-domain and time domain. Identification by Bode plots, by direct inspection and by method of Prony. Feedback and control systems: introduction, negative and positive feedback, the transfer function. Stability criteria: closed-loop open loop. Stability margins. Performance and error rate in control systems. Design techniques. Probability theory: definitions, conditional odds, compound experiments. Random variables, functions of a random variable, functions of several random variables. Stochastic processes. Correlation functions. Measure of the correlation functions. Power spectra. Time invariant processes. Ergodic processes. Markov processes. Information theory: definitions. Source, channel, receiver. Shannon theorems, discrete channel with noise, continuous channel with noise.*

#### Testi consigliati

G. V. Pallottino (rev. L.Zanello), "Dispense del Corso di Cibernetica Generale", Roma, 1993. Tratte da G. V. Pallottino, "Cibernetica", Ed. La Goliardica, Roma, 1969.

[http://www.phys.uniroma1.it/DipWeb/web\\_disp/d6/dispense/Pallottino\\_cibern.pdf](http://www.phys.uniroma1.it/DipWeb/web_disp/d6/dispense/Pallottino_cibern.pdf)

\* \* \* \* \*

### **COMPLEMENTI DI OTTICA (6 Cfu)**

Dott. Paolo Proposito

Mutuato dal corso di Complementi di Ottica - CdLM in Scienza e Tecnologia dei Materiali

Natura della luce e componenti ottici. Interazione radiazione materia. Elementi di fisica dello stato solido. Polarizzazione della luce. Dicroismo. Birifrangenza. Effetti ottici indotti. Modulazione della luce: Effetto elettro-ottico, effetto acusto-ottico. Modulatori ottici. Fotorivelatori: termici e fotonici. I modi del campo elettromagnetico in una cavità. Relazione con i fotoni. Teoria microscopica e macroscopica dell'assorbimento ottico. Coefficienti di Einstein. Inversione di popolazione. Modi assiali e trasversali. Allargamenti di riga. Laser a stato solido, a gas, a liquido, parametrici. Mode locking, Q-

switching. Alcuni tipi di laser e loro applicazioni. Ottica all'interfaccia tra due mezzi. Cenni di ottica guidata. Guide d'onda dielettriche. Modi ottici in guide planari e guide canali. Perdite ottiche in film sottili. Fibre ottiche. Cenni su alcune tecniche di spettroscopia ottica: assorbimento, emissione, tempi di vita, ellissometria spettroscopica.

Sono previste alcune esercitazioni di laboratorio su argomenti svolti a lezione.

**OPTICS COMPLEMENTS**

*Nature of light and optical components. Interaction matter/radiation. Basic concepts of solid state physics. Polarization of the light. Dichroism. Birefringence. Induced optical effects. Light modulation: electro-optic effect, acousto-optic effect. Optical modulators. Photodetectors: thermal and photonic. Electromagnetic modes in a cavity. Photons. Optical absorption. Einstein coefficient. Population inversion. Axial and transversal modes. Line broadening. Solid state laser, gas, liquid and parametric lasers. Mode locking, Q-switching. Type of lasers and applications. Optic at the interface between two media. Guided optic. Dielectric waveguides. Optical modes in planar and channel waveguides. Optical losses in thin film. Optical fibres. Principles of optical spectroscopy: absorption, emission, lifetimes, spectroscopic ellipsometry.*

*Practical experiences in laboratory of specific topics.*

Testi consigliati

*J. Wilson and J. Hawkes "Optoelectronics an introduction" Prentice Hall 1998*

*G. Lifante, Integrated Photonics Fundamentals, Wiley 2003*

\* \* \* \* \*

**COMPLEX AND NEURAL NETWORKS (8 Cfu)**

*Dott. Gaetano Salina*

Computational paradigms and Physical Systems Critical Phenomena, scale laws and universality Elements of Graphs Theory.

Complex Systems Dynamic: from biological systems to social systems Big Data as expression of a Complex Systems Dynamic.

\* \* \* \* \*

**ELETTRONICA 1 (6 Cfu)**

*Prof. Roberto Messi*

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.

**ELECTRONICS 1**

*Lumped networks. time domain respons, frequency and complex frequency (Laplace transform and its applications), networks theorems, feedback. Differential amplifiers. Linear and non-linear amplifiers.*

Testi consigliati

R. C. Jaeger *Microelettronica*

\* \* \* \* \*

**ELETRONICA 2 (6 Cfu)**

Dott. Roberto Cardarelli

Conduzione elettrica nei materiali; Teoria delle giunzioni; Diodo e sue applicazioni (caso particolare: diodo Gunn); Effetto termoionico e sue applicazioni; Transistor BJT e eterogiunzioni; FET e MOS; Polarizzazione, configurazioni, circuiti ad accoppiamento diretto e multistadio con BJT; Amplificatori a basso rumore e loro applicazioni nella fisica; Filtri; Teoria del rumore; Linee di trasmissione e fibre ottiche; Trasmissione di dati e reti; Conversioni analogico-digitale, digitale-analogico e frequenza-digitale e loro applicazioni nella fisica; Mean timer e circuito di coincidenza; Omodina e supereterodina; Analizzatore di spettro, PLL e Lock-in; Cenni sulla teoria dell'informazione; Segnali in campo discreto (DFS, DFT, FFT); Componenti a micro-onde.

**ELECTRONICS 2**

*Electric conduction in materials; Junction theory; Diode and its applications (Gunn diode); Thermionic effect and its applications; BJT transistor and Heterojunctions; FET and MOS; Polarization, configurations, direct coupling and multi-stadium with BJT; Low noise amplifiers and their applications in physics; Filters; Noise theory; Transmission lines and optical fibers; Data transmission and networks; Analog to digital, digital to analog and frequency to digital conversions and their applications in high energy physics; Mean timer and coincidence circuit; Homodyne and Superheterodyne; Spectrum analyzer, PLL and Lock-in; Information theory; Signals in discrete field (DFS, DFT, FFT); microwaves components.*

\* \* \* \* \*

**ELETRONICA DIGITALE (6 Cfu)**

Dott. Andrea Salamon

Sistemi di numerazione ed operazioni nelle varie rappresentazioni. Algebra booleana. Funzioni booleane. Funzioni in forma canonica e tecniche di riduzione a forma canonica. Minimizzazione delle funzioni booleane con metodi vari (algebrici, mappe di Karnaugh e Quine-McCluskey). Minimizzazione di un sistema di funzioni booleane. Tecniche di progetto dei circuiti combinatori. Comportamento dinamico dei circuiti combinatori, alee statiche e dinamiche. Metodi per l'eliminazione delle alee. Elementi di memoria. Flip-flop. Tempi di setup e di hold, metastabilità. Macchine a stati di Mealy e di Moore. Tecniche di progetto di circuiti sequenziali sincroni. Circuiti sequenziali asincroni. Convertitori A/D e D/A. Famiglie logiche (TTL, CMOS, ECL). Memorie. Elementi di trasmissione dati. Introduzione al linguaggio VHDL e ai simulatori digitali. Sviluppo e test con simulatore VHDL di un semplice progetto su FPGA.

**DIGITAL ELECTRONICS**

Numbering systems and operations in various representations. Boolean algebra. Boolean functions. Functions in canonical form and reduction techniques in canonical form. Minimization of Boolean functions with various methods (algebraic, Karnaugh maps and Quine-McCluskey). Minimization of a system of Boolean functions. Technical design of combinational circuits. Dynamic behavior of combinational circuits, static and dynamic hazards. Methods for the elimination of glitches. Memory elements. Flip-flop. Setup and hold times, metastability'. State machines, Mealy and Moore. Design techniques for synchronous sequential circuits. Asynchronous sequential circuits. A / D converters and D / A. Logic families (TTL, CMOS, ECL). Memoirs. Elements of data transmission. Introduction to VHDL and digital simulators. Development and test VHDL simulator with a simple design on FPGA. \* \*

\* \* \* \* \*

#### Testi consigliati

Digital Design: Principles and Practices (4th Edition) - John F. Wakerly - Prentice Hall. Appunti del corso.

\* \* \* \* \*

### **EPITAXIAL GROWTH OF CRYSTALS AND NANOSTRUCTURES (8 Cfu)**

Dott. Ernesto Placidi

Fundamentals of crystal growth. Epitaxial growth techniques (Molecular Beam Epitaxy, Liquid Phase Epitaxy, Vapor Phase Epitaxy, Metal Organic Vapor Phase Epitaxy, Chemical Vapour Deposition). Thermodynamic and kinetic effects during growth. Crystal defects and doping. Techniques for the calibration and monitoring of the growth: Reflection High Energy Electron Diffraction, X-Ray diffraction, Reflectance Anisotropy Spectroscopy. Elementary processes on surface: diffusion, nucleation, desorption, intermixing, segregation. Growth of nanostructures: Quantum wells, quantum wires, quantum dots. Surface ordering of nanostructures: Top-down and bottom-up approaches.

Laboratory experiments:

- Molecular Beam Epitaxy: calibration
- Molecular Beam Epitaxy: growth of Quantum Dots
- Vapor Phase Deposition of Ge on Si
- CVD synthesis of micro- and nano-crystalline diamond films
- Pulsed Laser Deposition of manganites.

### **CRESCITA EPITASSIALE DI CRISTALLI E NANOSTRUTTURE**

Fondamenti sulla crescita dei cristalli. Tecniche di crescita epitassiale (Epitassia da fasci molecolari, Epitassia da fase liquida, da fase vapore, metallorganica da fase vapore, Deposizione chimica da vapore). Effetti termodinamici e cinetici durante la crescita. Difetti cristallini e drogaggio. Tecniche per la calibrazione e per il monitoraggio della crescita: Diffrazione radente di elettroni di alta energia, diffrazione a raggi X, Spettroscopia anisotropa. Processi elementari di superficie: diffusione, nucleazione, desorbimento, inetermixing, segregazione. Crescita di nanostrutture. Ordinamento di superficie delle nanostrutture: approcci top-down e bottom-up.

Esperienze di laboratorio:



- Calibrazione dell'epitassia da fasci molecolari
- Crescita di punti quantici
- Deposizione in fase vapore di Ge su Si
- Sintesi CVD di micro- e nano-cristalli di film di diamante
- Deposizione a laser pulsate di manganiti.

Testi consigliati

*Elementi di Fisica del Vuoto, E. Placidi, Lulu editor.*

*Crystal Growth for Beginners: Fundamentals of Nucleation, Crystal Growth and Epitaxy*

*Ivan V. Markov, World Scientific*

*Nucleation Theory and Growth of Nanostructures*

*Vladimir G. Dubrovskii, Springer*

*Fractal Concepts in Surface Growth*

*Albert-Laszlo Barabasi, Harry Eugene Stanley, Cambridge University Press*

*Molecular beam epitaxy—fundamentals and current status.*

*M. A. Herman, H. Sitter. Springer-Verlag*

\* \* \* \* \*

**EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS (6 Cfu)**

*Prof. Fausto Vagnetti*

The Galaxy and the galaxies, main data, classification, catalogs, surface photometry, luminosity function. Disk galaxies, photometry, rotation curves, Tully-Fisher relation. Elliptical galaxies, photometry, stellar velocities, Faber-Jackson relation, fundamental plane. Active galactic nuclei, black hole paradigm, accretion disk. Continuous emission and variability. Broad line region and narrow line region, cloud properties, line-continuous correlations, Baldwin effect. Cosmological framework, luminosity distance. Surveys, Eddington effect, K-correction. Selection criteria. logN-logS and V/Vmax test. Luminosity function and its evolution. Cosmic Downsizing. Quasar-galaxy coevolution. High redshift galaxies, active and passive evolution. Color bimodality, blue cloud, red sequence.

**ASTROFISICA EXTRAGALATTICA**

*La Galassia e le galassie, dati principali, classificazione, cataloghi, fotometria di superficie, funzione di luminosità. Galassie a disco, ed ellittiche. Relazioni di Tully-Fisher a Faber-Jackson, piano fondamentale. Nuclei galattici attivi, paradigma del black hole, disco di accrescimento. Emissione continua e variabilità. Broad Line Region e Narrow Line Region, proprietà delle nubi, correlazioni righe-continuo, effetto Baldwin. Cornice cosmologica, distanza di luminosità. Surveys, effetto Eddington, correzione-K. Criteri di selezione. logN-logS e test V/Vmax. Funzione di luminosità e sua evoluzione. Cosmic Downsizing. Co-evoluzione quasar-galassie. Galassie di alto redshift, evoluzione passiva ed attiva. Bimodalità di colore, blue cloud, red sequence.*

Testi consigliati

*Sparke & Gallagher, Galaxies in the Universe, Cambridge University Press*

*Peterson, An*

*introduction to Active Galactic Nuclei, Cambridge University Press*

*Dispense delle*

lezioni

\* \* \* \* \*

**FENOMENOLOGIA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (6 Cfu)***Prof. Roberto Frezzotti – Prof. Massimo Bianchi*

Gli ingredienti del Modello Standard: i leptoni, i quarks, i bosoni di gauge, il bosone di Higgs. Le interazioni del Modello Standard: richiamo alla QED, il settore forte QCD, il settore elettrodebole  $SU(2)\times U(1)$ , richiamo al meccanismo di Higgs. Processi di decadimento e scattering in teoria delle perturbazioni: la serie perturbativa di Dyson e i diagrammi di Feynman, gli integrali sullo spazio delle fasi. La tecnica delle teorie effettive: caratteristiche generali delle teorie effettive, simmetrie e power-counting, la teoria effettiva dei quarks pesanti, la teoria effettiva della QCD a bassa energia, la teoria di Fermi delle interazioni deboli, teorie effettive per scoprire la fisica al di fuori del Modello Standard. I leptoni carichi: decadimento del muone, determinazione della costante di Fermi. Interazioni deboli delle particelle strane: decadimenti leptonic e semileptonici dei K carichi ed estrazione degli elementi di matrice CKM, la violazione di CP nei decadimenti e nelle oscillazioni dei mesoni K. I quark pesanti: massa dei quark pesanti, violazione di CP nei decadimenti e oscillazioni dei mesoni B, cenni alla fenomenologia dei mesoni D. Il bosone di Higgs: la massa del bosone di Higgs, la sua self-interazione e le costanti di accoppiamento con i quarks.

**PHENOMENOLOGY OF ELEMENTARY PARTICLES**

*The building blocks of the Standard Model: leptons, quarks, gauge bosons, the Higgs boson. The interactions of the Standard Model: survey of the QED, the strong sector QCD, the electroweak sector  $SU(2)\times U(1)$ , the Higgs mechanism. Scattering and decay processes in perturbation theory: the Dyson series and the Feynman diagrams, the phase-space integrals. The technique of effective field theory: general features of effective theories, symmetries and power-counting, the effective theory of heavy quarks, the effective theory of low-energy QCD, Fermi's theory of weak interactions, effective theories as probes of new physics. Charged leptons: the muon decay and the determination of the Fermi constant. Weak interactions of strange particles: leptonic and semileptonic decays of charged kaons and extraction of CKM matrix elements, CP violation in mixing and decays of the neutral kaons. Heavy quarks: heavy quark masses, CP violation in mixing and decays of B mesons, a few words about D meson physics. The Higgs boson: the mass, the self-interaction and the Yukawa couplings with quarks.*

Testi consigliati*Dynamics of the Standard Model.**J.F. Donoghue, E. Golowich, B.R. Holstein**Cambridge Monographs*

\* \* \* \* \*

**FISICA BIOLOGICA 1 (6 Cfu)***Prof.<sup>ssa</sup> Silvia Morante*

Come si definisce un sistema vivente: il concetto di complessità. La formazione del sistema solare, l'evoluzione del pianeta Terra e la comparsa della vita. Dalla protocellula (Oparin) alla cellula: procarioti ed eucarioti. La cellula: meccanismi di comunicazione e riconoscimento tra cellule. Le macromolecole: proteine, acidi nucleici, zuccheri e lipidi. Il messaggio biologico e la doppia elica del DNA: replicazione, trascrizione e traduzione. Sequenziamento e mappatura del DNA. La misura del contenuto informativo del genoma. I problemi NP-completi (il problema di Hamilton) e il DNA computing. La legge di Zipf e l'invarianza di scala. L'entropia relativa come misura della similarità tra stringhe di caratteri (DNA e proteine). Metodi matematici per l'analisi delle sequenze: processi di Markov; Teorema di Bayes nel continuo; pressione selettiva e abbondanza o rarità di oligonucleotidi; il modello evolutivo di Eigen. Le proteine, gli amino acidi e la catena polipeptidica. Proprietà fisico-chimiche degli amino acidi. Proteine: funzione e folding: struttura secondaria e terziaria. Interazione proteina-proteina. Struttura quaternaria e cooperatività: il modello MCW. Le banche dati: acidi nucleici e proteine.

### **BIOPHYSICS 1**

*How is a living being defined: the complexity paradigm. Origin of the solar system, earth evolution and life appearance. From the proto-cell (Oparin) to the cell: prokaryotic and eukaryotic organisms. The cell: inter-cellular communication and recognition mechanisms. Biological macromolecules: proteins and nucleic acids, sugars and lipids. The biological message and DNA double helix: duplication; transcription; translation. DNA sequencing and DNA mapping. How to measure the genome information content. NP-complete problems (the Hamilton problem) and DNA-computing. The Zipf law and scale invariance. The relative entropy as a measure of the similarity between strings (DNA and proteins). Mathematical methods for sequence studies: Markov processes; Bayes theorem in the continuum; selection pressure and the relative abundance and rarity of oligo-nucleotide sequences; the Eigen evolution model. The proteins. The amino acids and the polipeptide chain. Physico-chemical properties of amino acids. Protein function and protein folding: secondary and tertiary structure. Protein-protein interaction. Quaternary structure and cooperativity: the MCW model. Data Bases: nucleic acids and proteins.*

#### Testi consigliati

*Sono fornite dispense in forma elettronica e cartacea. Sono utilizzati alcuni Capitoli dai seguenti testi: "Molecular Biology of the cell" - Alberts et al.; "Biochemistry" - Stryer; "L'origine della vita sulla terra" - Agno*

\* \* \* \* \*

### **FISICA BIOLOGICA 2 (6 Cfu)**

*Prof.<sup>ssa</sup> Silvia Morante*

Struttura primaria: le sequenze proteiche, codici di allineamento e programmazione dinamica. Metodi di analisi statistica delle sequenze (Dot-Plot; Needleman-Wunsch; etc.). L'evoluzione e le matrici di somiglianza: le matrici PAM. Divergenza e convergenza evolutiva. Il sistema immunitario, la mimesi molecolare e le malattie autoimmuni: un esempio di convergenza evolutiva. Evoluzione e costanti

biologiche: 4 basi; 20 amino acidi (a.a.); tutti gli a.a. sono levogiri; tutti gli a.a. sono alpha. Struttura secondaria: alpha-elica e beta-foglietto; stabilità delle strutture secondarie: idropaticità e DeltaG di trasferimento; profili di idropaticità e anfifilicità; modello di Kauzmann. Struttura terziaria: Forze che determinano il folding. Simulazioni numeriche: Dinamica Molecolare (MD), Dinamica di Langevin, Monte Carlo e Ibrido Monte Carlo. MD ab initio (Car-Parrinello). Il misfolding e l'aggregazione: il ruolo dei metalli. Le membrane cellulari: lipidi; micelle; Langmuir-Blodgett; lipid rafts. Le proteine di membrana. Tecniche spettroscopiche in biologia: limiti e potenzialità. Richiami di meccanica quantistica: teoria delle perturbazioni e sezioni d'urto. Spettroscopia di assorbimento a raggi X: apparato sperimentale; analisi del segnale ed estrazione dei dati strutturali.

## **BIOPHYSICS 2**

*Primary structure: protein sequences, protein alignment codes and dynamic programming. Sequences statistical analysis (Dot-Plot; Needleman-Wunsch; etc.). Evolution and similarity matrices: PAM matrices. Divergent and convergent evolution. The immune system, molecular mimicry and autoimmune diseases: a convergent evolution example. The evolution and the biological constants: ??? four basis; 20 amino acids (a.a.); all a.a. are levorotary; all a.a. are alpha. Secondary structure: alpha-helix and beta-sheet; secondary structure stability: hydrophobicity and DeltaG; hydrophobicity profiles and amphiphilicity; the Kauzmann model. Tertiary structure: forces that drive protein folding. Numerical simulations: Molecular Dynamics (MD), Langevin dynamics, Monte Carlo (MC) and hybrid MC, ab initio MD (Car-Parrinello). Misfolding and aggregation: the role of metals. Cell membranes: lipids; micelles; Langmuir-Blodgett; lipid rafts. Membrane proteins. Spectroscopic techniques in biology: perturbation theory and cross section. X-ray absorption spectroscopy: the experimental apparatus; data analysis and structural information.*

### Testi consigliati

*Sono fornite dispense in forma elettronica e cartacea. Sono utilizzati alcuni Capitoli dai seguenti testi: "Molecular Biology of the cell" - Alberts et al.; "Biochemistry" - Stryer; "Physical Chemistry" - Tinoco et al.*

\* \* \* \* \*

## **FISICA COMPUTAZIONALE (8 Cfu)**

*Dott. Alessandro Pecchia*

- Fondamentali di numerica
  - Errori di troncamento e arrotondamento
- Algoritmi numerici di base
  - Ricerca di zeri (bisezione, Newton)
  - Sistemi lineari (metodi diretti: LU. Iterativi: CG, MINRES, GMRES)
- Quadrature
  - Simpson's rules e quadrature gaussiane
- Equazioni differenziali ordinarie (ODE)
  - Analisi di Stabilità
  - Metodi espliciti (Runge-Kutta 45, Dormant-Prince, PC, Adaptive)

- Metodi impliciti
- Attrattori e Caos
  - Attrattore di Lorenz (con derivazione)
  - Mappa logistica, biforcazioni e teoria di Feigenbaum
- Cenni di dinamica molecolare
  - Liquido di Lennard-Jones (sviluppo programma)
- Metodi Spettrali
  - Fourier e Chebyshev. (Equazione di Burger)
- Equazioni alle derivate parziali
  - Paraboliche, Ellittiche, Iperboliche. Problemi di stabilità

Soluzione numerica equazione di Navier-Stokes (Volumi Finiti)

### **COMPUTATIONAL PHYSICS**

- *Basic numerics*
  - *Truncation and round-off errors*
- *Algoritmi numerici di base*
  - *Search of zeros (bisection, Newton)*
  - *Linear solvers (direct: LU, iterative: CG, MINRES, GMRES)*
- *Quadrature*
  - *Simpson's rules and Gaussian quadratures, Gauss-Lobatto*
- *Equazioni differenziali ordinarie (ODE)*
  - *Stability*
  - *Explicit Methods (Runge-Kutta 45, Dormant-Prince, PC, Adaptive)*
  - *Metodi impliciti*
- *Attractors e Caos*
  - *Attrattore di Lorenz (derived from Benard cell model)*
  - *Logistic Map, Bifurcations and Feigenbaum theory.*
  - *Lyapunov exponents.*
- *Brief overview of Molecular Dynamics*
  - *A Lennard-Jones gas (development of a code with periodic BC)*
- *Spectral Methods*
  - *Fourier and Chebyshev methods (solve Burger's equation).*
- *Partial differential equations*
  - *Parabolic, Elliptic, Hyperbolic. Stability issues.*

*Numerical solutions of Navier-Stokes (Finite Volume Method)*

#### Testi consigliati

- R. Landau, M. Paez, C. Bordeianu, "Computational Physics 2nd ed.", WILEY-VCH
- L.Barone, E.Morinari, G. Organtini, F. Ricci-Tresenghi, "Programmazione scientifica", Pearson Education
- Numerical Recipes in Fortran 90 or C++, Third Edition (2007), 1256 pp. Cambridge University Press, ISBN-10: 0521880688

\* \* \* \* \*

**FISICA DEI DISPOSITIVI A STATO SOLIDO (6 cfu)***Dott. Fabio De Matteis*Mutuato dal corso di Fisica dei Dispositivi a Stato Solido – CdLM in Scienza e Tecnologia dei Materiali

Richiami di fondamentali di fisica dei solidi. Modello di Drude. Densità degli stati e statistica degli elettroni. Elettroni in una struttura periodica. Semiconduttori Massa efficace. Concentrazione dei portatori intrinseci. Drogaggio e portatori estrinseci. Scattering e mobilità dei portatori Trasporto in un campo (relazioni velocità-campo) e per diffusione Relazione di Einstein Break-down, Ionizzazione per impatto, Tunneling attraverso barriera. Processi ottici. Livelli quasi-Fermi Generazione e ricombinazione radiativa e nonradiativa. Deep traps (Shockley-Read-Hall). Equazione di continuità Correnti di spostamento e di diffusione. Equilibrio alla giunzione p-n. Polarizzazione del diodo Diodo reale. Eterogiunzioni Risposta temporale del diodo. Giunzione metallo semiconduttore Diodo Schottky Contatti ohmici. Isolanti e semiconduttori; Interconnessioni, Resistori, Sheet resistance. Funzionamento concettuale di un dispositivo bipolare. Caratteristiche I-V di un dispositivo bipolare. Parametri di funzionamento di un BJT. Alta frequenza/alta velocità. Dispositivi ad effetto di campo. Caratteristiche corrente-voltaggio Alta frequenza/alta velocità. Capacità MOS. Caratteristiche corrente voltaggio Dispositivi Reali. Inverter CMOS. ChargeCoupledDevice. Introduzione ai dispositivi optoelettronici. Assorbimento ed emissione da coppie di portatori. Giunzione p-n come rivelatore fotoconduttivo e dispositivo fotovoltaico. Diodo ad emissione di luce e laser a diodo. Guadagno ottico in un diodo laser. Propagazione all'interfaccia tra due dielettrici. Coefficienti di Fresnel. Principi di ottica guidata Guide d'onda planari e canali Modi di propagazione e tecniche di inserzione di luce in guida.

**PHYSICS OF SOLID STATE DEVICES**

*Reference to fundamentals of solid state physics. Drude Model. Density of states and electron statistic Electrons in periodic structures. Semiconductors Effective Mass. Intrinsic carrier concentration. Doping and extrinsic carriers. Scattering and carrier mobility Carrier transport by drift (velocity-field relation) and by diffusion. Einstein 's relation. Break-down, Impact ionization, Tunneling. Optical processes. Quasi-Fermi levels. Carrier generation and recombination (radiative and nonradiative). Deep traps (Shockley-Read-Hall). Continuity equation Drift and diffusion currents. Equilibrium at p-n junction. Diode Polarization. Real diode. Eterojunctions. Diode Time response. Metal-semiconductor junction, Schottky diode, Ohmic contacts. Insulators and semiconductors; Interconnection, Resistors, Sheet resistance. Conceptual picture of bipolar devices. I-V characteristic of BJT. High frequency/high speed. Field effect devices. Current-voltage characteristics High frequency/high speed MOS capacitor. Current-voltage characteristics Real devices. CMOS Inverter. ChargeCoupledDevice. Introduction to optoelectronic devices. Absorption and emission by carrier pairs. p-n junction as photoconductive and photovoltaics devices. Light emitting diode and diode laser. Optical gain in a diode laser. Light propagation at the interface between two dielectrics. Fresnel coefficients. Principles of guided optics Waveguides (planar and channel) Propagation modes Light insertion in waveguides*

Bibliografia:

1. J. Singh "Semiconductor Devices. Basic principles", John Wiley & Sons
2. K.F. Brennan "The Physics of Semiconductors: With Applications to

*Optoelectronic Devices" Cambridge University Press*

3. *B.E. Saleh, M.C. Teich "Fundamentals of Photonics", Ed. Wiley&Sons*

Per approfondire:

1. *S.M. Sze "Semiconductor Devices: Physics and Technology" Ed. Wiley*
2. *B.G. Streetman, S.K. Banerjee "Solid State Electronic Devices" Pearson International Edition*
3. *R. F. Pierret "Semiconductor Device Fundamentals", Ed. Addison Wesley*

\* \* \* \* \*

### **FISICA DEI FLUIDI COMPLESSI E TURBOLENZA (8 Cfu)**

*Prof. Luca Biferale - Dott. Mauro Chinappi*

Richiami di Meccanica dei Continui: Equazioni di Eulero, Teorema di Kelvin, Equazione di Bernoulli, Concetto di Streamlines, Proprietà dei Flussi Potenziali, Cenni su Streamfunction e Flussi Bidimensionali, Descrizione Esatta del Flusso Potenziale intorno ad una Sfera. Propagazione Ondosa nei Flussi Potenziali. Equazioni Laminari di Stokes, Equazioni di Navier Stokes, tensore degli sforzi viscoso, Descrizione esatta di un flusso di Stokes intorno ad una sfera e formula di Stokes.

Damping viscoso in fenomeni oscillatori. Fenomeni di Superficie, Concetto di Tensione Superficiale e formula di Laplace, Descrizione esatta di un menisco statico sotto gravità. Dispersione di Thompson e onde capillari, Formula di Rayleigh per le frequenze di oscillazione Capillare in Flussi Potenziali. Teoria Idrodinamica per Film Sottili, Equazione di Reynolds e Lubrication approximation, Instabilità Capillare di Rayleigh Taylor e di Plateau-Rayleigh, Problema di Landau-Levich e cenni sulle espansioni asintotiche ed a scale multiple, cenni sullo scaling di Derjaguin in regimi dominati da gravità.

Fluidi ad alti numeri di Reynolds. Transizione alla Turbolenza. Leggi di Similarità. Leggi di conservazione e simmetrie. Turbolenza Omogenea e Isotropa. Equazioni di Karman-Horwath per il flusso di Energia. Descrizione Spettrale. Teoria di Kolmogorov. Anomalia Dissipativa. Intermittenza e fluttuazioni non Gaussiane. Cascata di Richardson. Fenomenologia Multifrattale. Teoria delle grandi deviazioni. Analisi di dati sperimentali e numerici. Equazioni di Reynolds. Tecniche di misura sperimentali. Fluidi di parete. Lo strato limite. Fluidi stratificati termicamente. Turbolenza bidimensionale. Turbolenza Lagrangiana. Dispersione di particelle e contaminanti.

### **PHYSICS OF COMPLEX SYSTEMS AND TURBOLENCE**

*Euler and Navier-Stokes equations. Kelvin theorem. Streamfunctions and 2d flows. Potential flows. Surface flows, surface tension. Capillary effects. Viscous stress tensor. Lubrication approximation. Transition to Turbulence. Homogeneous and isotropic turbulent flows. K41 theory. Dissipative anomaly. Intermittency and cascade processes. Multifractals. Large deviation theory. Aspects of experimental measurements. Boundary layer. Thermal flows. Lagrangian turbulence.*

\* \* \* \* \*

### **FISICA DEI LIQUIDI E DEI SISTEMI DISORDINATI (6 Cfu)**

*Prof. Roberto Senesi*

Diagrammi di fase e campo di esistenza dei liquidi. Liquidi e solidi quantistici. Distribuzioni radiali di densità. Modello a celle. Proprietà macroscopiche dei liquidi. Fenomeni di trasporto. Energia superficiale e pressione di vapore. Equazione di Van der Waals come teoria di campo medio. Potenziali interatomici di coppia. Medie termodinamiche, funzioni di correlazione e trasformate di Fourier. Funzioni di correlazione di coppia per liquidi classici e fluidi quantistici. Cenni di dinamica molecolare. Liquidi molecolari. Struttura e dinamica microscopica dell'acqua. Funzione di autocorrelazione della velocità. Funzioni di correlazione di Van Hove. Fattore di struttura dinamico. Fattore di struttura statico. Cenni di scattering di neutroni, raggi X, elettroni. La transizione vetrosa. Classificazione "strong-fragile glasses". Dinamica vibrazionale, rigidità, e proprietà dei vetri. Distribuzione di impulso e proprietà quantistiche di singola particella nell'elio liquido, nei liquidi molecolari e nei sistemi amorfi.

**PHYSICS OF LIQUIDS AND OF DISORDERED SYSTEMS**

*Phase diagrams of the liquid state. Quantum solids and liquids. Radial distribution functions. Cell models. Macroscopic properties of liquids. Transport properties. Surface energy and vapour pressures. Van der Waals equation and mean field theories. Interatomic potentials. Thermodynamical averages, correlation functions, Fourier transforms. Pair correlation functions for classical and quantum fluids. Basic principles of molecular dynamics. Molecular liquids. Microscopic structure and dynamics of water. Velocity autocorrelation function. Van Hove correlation functions. Dynamical and static structure factors. Basic principles of neutron, X-Ray, and electron scattering techniques. The glass transition, strong-fragile classification. Vibrational dynamics of glasses. Momentum distributions and single particle quantum properties in liquid helium, molecular liquids and amorphous systems.*

Testi consigliati

*Lecture notes distributed to students and on the web platform; M. de Podesta, "Understanding the properties of matter" (Taylor and Francis) ; P. Egelstaff, An introduction to the liquid state (Oxford University Press)*

\* \* \* \* \*

**FISICA DEI PLASMI (6 Cfu)**

*Dott. Giuseppe Consolini*

Introduzione ai plasmi. Moto di particelle nel campo elettromagnetico. Descrizione cinetica e fluida. Equazioni magnetoidrodinamiche. Equilibrio idromagnetico. Processi Collisionali, Onde nei plasmi. Instabilità. Elicità magnetica e topologia. Riconnessione magnetica. Effetti nonlineari. Applicazioni: proprietà dei plasmi spaziali, vento solare e plasmi magnetosferici. Cenni di turbolenza magnetoidrodinamica.

**PHYSICS OF PLASMAS**

*Introduction to plasmas. Particle motions in electromagnetic fields and adiabatic invariants. Collision theory in plasmas. Statistical description and Klimontovich's equation for plasmas: from kinetic to fluid description. Magnetohydrodynamic equations. Conditions for the hydromagnetic equilibrium:*



*Force-free equilibrium, equilibrium condition of Ferraro and equation of Grad-Shafranov. Plasma instabilities. Magnetohydrodynamic waves. Plasma waves. Hints on magnetic helicity and topologies. Introduction to magnetic reconnection and magnetohydrodynamic turbulence.*

Testi consigliati

*G. Pucella e S.E. Segre, Fisica dei Plasmi, Zanichelli (2010); C. Chiuderi e M. Velli, Fisica del Plasma, Fondamenti ed applicazioni astrofisiche, Springer-Verlag Italia (2012)*

\* \* \* \* \*

**FISICA DEI SISTEMI DINAMICI (6 Cfu)**

*Prof. Roberto Benzi*

Introduzione ai sistemi dinamici e al caos deterministico; Sistemi continui e discreti, mappe 1d, modello di Lorenz; Sistemi dinamici conservativi e dissipativi; Punti fissi e stabilità lineare; Esponente di Lyapunov; Misura in variante, naturale, ipotesi ergodica; Attrattore strano e proprietà Frattali; Esponenti di Lyapunov generalizzati; Cenni di teoria delle grandi deviazioni; Scenari di transizioni al caos; Cenni su processi stocastici.

**PHYSICS OF DYNAMICAL SYSTEMS**

*Introduction to stability and chaotic dynamics. Discrete and continuous dynamical systems. Lyapunov exponents and probability measures. Ergodic properties of invariant measure. Multifractal theory of dissipative dynamical systems.*

\* \* \* \* \*

**FISICA DEI SISTEMI A BASSA DIMENSIONALITA' (6 Cfu)**

*Dott. Matteo Salvato*

Richiami sulla teoria del trasporto di carica nei solidi 3 dimensionali: conducibilità, legge di Ohm e cammino libero medio, gas di elettroni liberi, teorema di Bloch, bande di energia, massa efficace, approssimazione di Boltzmann, tempo di rilassamento, corrente elettrica e conducibilità. Sistemi quantistici confinati: gas di elettroni in 2 dimensioni, buche e barriere quantiche, etero strutture, multistrati, nanofili e dots. Effetto del campo magnetico: livelli di Landau, effetto Subnikov-Dehaas. Effetto Tunnel: formula di Landauer, resistenza negativa e diodo tunnel. Conduttanza quantistica, effetto Balistico, weak localization, Coulomb blockade. Meccanismo di trasporto in sistemi granulari, nanotubi di carbonio, grafene. Superconduttività a bassa dimensionalità, anisotropia, superconduttività all'interfaccia, effetto prossimità. Parte sperimentale: Metodi di deposizione, sputtering, MBE. Metodi per misure di resistività: misure a 2 e a 4 contatti; metodo di Van der Paw. Deposizione di film sottili; misura della resistività di un film sottile metallico. Misura del cammino libero medio. Stima della temperatura di Debye mediante l'uso del modello di Bloch-Gruneisen.

**PHYSICS OF LOW DIMENSIONAL SYSTEMS**

*Basic concepts to the transport theory in 3 dimensional solids: electrical conducibilità, Ohms law, mean free path, free electron gas, Bloch theorem, energy bands, effective mass, Boltzmann approximation, relaxation time, electrical current and conducibility. Quantum confined systems: 2*

*dimensional electron gas, quantum wells, ethero structures, multilayers, nanowires, nanodots.*

*Effects of the magnetic field: Landau levels, Subnikov-Dehaas effect. Tunnel effect: Landauer formula, negative resistance and tunnel diode. Quantum conductance, ballistic effect, weak localization, Coulomb blockade. Transport mechanism in granular systems, carbon nanotubes and grapheme. Low dimensional superconductivity, anisotropy, interface superconductivity, proximity effect. Experimental: Deposition methods, sputtering MBE. Resistivity measurements methods: 2 and 4 leads measurements; Van der Paw method. Metallic thin film deposition; resistivity measurement of a metallic thin film. Mean free path measurement. Calculation of the Debye temperature through the Bloch-Gruneisen model*

\* \* \* \* \*

### **FISICA DEI SOLIDI (6 Cfu)**

*Prof. Matteo Cirillo*

I modelli ad elettroni liberi per il trasporto nei solidi: i modelli di Drude e di London. Effetto pelle ed effetto pelle anomalo. La profondità di penetrazione magnetica nelle equazioni per il conduttore perfetto. Effetto Hall ed effetto Hall quantistico. Elettroni in potenziali periodici, il calore specifico elettronico del gas di elettroni liberi. Lo spettro fononico nei solidi ed il calcolo del calore specifico reticolare. Interazione elettrone-reticolo. Le coppie di Cooper e la teoria Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) della superconduttività. Lo stato fondamentale BCS, il gap superconduttivo e la densità di stati BCS. Quasi particelle. La teoria di Landau-Ginsburg e le proprietà magnetiche dei superconduttori. L'energia di condensazione superconduttiva, i domini di Landau ed il problema dell'energia delle interfacce superconduttore-normale nello stato intermedio. I vortici di Abrikosov. Il tunnelling superconduttivo e l'effetto Josephson (superconduttività debole). La Macroscopic Quantum Coherence, i quantum-bits (qubits) a stato solido ed il quantum computing.

### **SOLID STATE PHYSICS**

*Free electron models for transport phenomena in solids: Drude and London models. The magnetic penetration depth in London equations for the perfect conductor. Skin effect and anomalous skin effect. Hall effect and quantum Hall effect. Electrons in periodic potentials, the specific heat for the free electrons gas. The phonon spectrum in solids and the lattice specific heat. Phonon-electron interaction. Cooper pairs and Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) theory of superconductivity. The fundamental BCS state, the superconductive gap and the BCS state density. Quasi particles. Landau-Ginsburg theory or superconductivity and the magnetic properties of superconductors. Superconductive condensation energy, Landau domains and the problem of the energy at the interfaces superconductor-normal in the intermediate state. Superconductive tunneling and Josephson effect (weak superconductivity). Macroscopic Quantum Coherence, the solid state quantum-bits (qubits) and quantum computing.*

#### Testi consigliati

*G.Grosso and G.Pastori Parravicini: Solid state Physics, Academic Press*

*N.W.Ashcroft and N.D.Mermim: Solid State Physics, Saunders*

\* \* \* \* \*

**FISICA DELLE ASTROPARTICELLE (6 Cfu)***Prof.ssa Rita Bernabei*

Richiami sintetici su interazioni fondamentali tra particelle, onde e particelle, campi fondamentali, Modello standard delle particelle. Cenni storici. Fenomenologia dei Raggi Cosmici. Spettro energetico, composizione, origine galattica ed extragalattica. Meccanismi di produzione e di accelerazione. Raggi Cosmici di altissima energia. Effetto GZK. Situazione sperimentale. Considerazioni energetiche e sorgenti possibili. Raggi gamma. Tecniche di rivelazione. L'asimmetria dell'Universo. L'astronomia del neutrino. Nucleosintesi e neutrini cosmologici. Neutrini da sorgenti astrofisiche. Il Big Bang e la materia oscura (DM) dell'Universo. Ruolo della DM. Natura della DM. Indicazioni e segnali sperimentali. Onde gravitazionali e tecniche di rivelazione.

**ASTROPARTICLE PHYSICS***Synthetic*

*references on the fundamental interactions between particles, waves and particles, and fundamental fields. Standard Model of particle Physics. Historical background. Phenomenology of Cosmic Rays. Energy spectrum, composition, galactic and extragalactic origin. Mechanisms of production and acceleration. High energy Cosmic Rays. GZK effect. Experimental situation. Energy considerations and possible sources. Gamma rays. Detection techniques. The asymmetry of the Universe. The neutrino astronomy. Neutrinos and cosmological nucleosynthesis. Neutrinos from astrophysical sources. The Big Bang and dark matter (DM) of the Universe. Role of DM. Nature of DM. Experimental hints and signals. Gravitational waves and detection techniques.*

Testi consigliati*Astroparticle*

*physics, D. Perkins, master series in particle Physics, astrophysics and Cosmolgy, Oxford University + bibliography given during lectures*

\* \* \* \* \*

**FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI 1 (6 Cfu)***Prof. Lucio Cerrito*

Introduzione, particelle e forze, diagrammi di Feynman. Variabili di Mandelstam, regola d'oro di Fermi, spazio delle fasi Lorentz-invariante, decadimenti a due corpi, sezione d'urto. Equazione di Klein-Gordon, equazione di Dirac, densità di probabilità e covarianza, soluzioni dell'equazioni di Dirac per un elettrone a riposo. Soluzioni generali dell'equazione di Dirac, Antiparticelle e loro spinori, normalizzazione della funzione d'onda, Spin, Elicità. Interazione tramite scambio di particella, elemento di matrice  $2 \rightarrow 2$  time-ordered, Diagrammi di Feynman, esempi ed algebra di matrici. Operatore di Parità, raggio delle forze, potenziale di Yukawa, Elemento di matrice QED per lo scattering elettrone-tau, Regole di Feynman per la QED. QED come teoria perturbativa, Somme di spin nel processo  $e+e-$  in  $\mu+\mu-$ , la sezione d'urto del processo  $e+e-$  in  $\mu+\mu-$  e la sua forma Lorentz-invariante, esempi di applicazione delle regole di Feynman. Operatore di Chiralità, Coniugazione di carica. Scattering elastico elettrone-protone: formule di Rutherford, Mott e Rosenbluth, Fattori di

forma. Scattering elastico elettrone-protone ad alto  $Q^2$ , scattering inelastico e-p, scattering inelastico e-p a basso  $Q^2$  ed alto  $Q^2$  (DIS), scaling di Bjorken e relazione di Callan-Gross, Scattering elettrone-quark. Modello a quark-partoni, funzioni di densità dei partoni, quark di valenza e di mare, scattering elettrone-protone ad HERA. Simmetrie e leggi di conservazione, Simmetria di sapore  $SU(2)$ , combinazioni di 2 e 3 quark in  $SU(2)$ , Barioni e mesoni di quark leggeri (ud). Simmetria di sapore  $SU(3)$ , matrici di Gell-Mann, Mesoni e Barioni di quark leggeri (ground state, uds), Massa degli adroni e constituent mass. Invarianza locale di gauge in QED e QCD, Colore in QCD, confinamento di colore, Funzioni d'onda del colore per Mesoni e Barioni, Gluoni, interazioni quark-gluone e gluone-gluone, Adronizzazione e jet, produzione adronica nelle collisioni e+e-. Costanti d'accoppiamento running in QED e QCD, libertà asintotica, Fattori di colore, Collisioni adroniche e Drell-Yan. Produzione di jet in collisioni adroniche. Rapidità e pseudo-rapidità, processo Drell-Yan, Parità negli elementi di matrice di QED e QCD, violazione di Parità nelle interazioni deboli. Struttura V-A dell'interazione debole, Proprietà chirali di V-A, Propagatore del bosone W, Teoria di Fermi, Elicità nel decadimento del pione ed evidenza di V-A, universalità leptonica nell'interazione elettrodebole. Scattering (Anti)neutrino-quark, sezioni d'urto neutrino-nucleone, Esperimento CDHS. Autostati di massa e di sapore del neutrino, oscillazioni di neutrino in 2 e 3 famiglie, Fenomenologia negli esperimenti di neutrino. Violazione di CP nel neutrino mixing, matrice PMNS, Esperimenti di oscillazione di neutrini e determinazione dei parametri PMNS e delle masse. Mescolamento di quark nelle interazioni deboli, Angolo di Cabibbo e meccanismo GIM, matrice CKM e sue rappresentazioni. Il sistema di K neutri. Oscillazioni di K, Violazione di CP nelle oscillazioni e decadimenti. Oscillazioni di B e B<sub>s</sub>, B factories. Larghezza di decadimento del bosone W e branching ratios. Struttura di gauge elettrodebole  $SU(2)_L$ , Corrente neutra, Unificazione elettrodebole, il bosone Z. Risonanza Breit-Wigner, sezione d'urto di produzione di Z in collisioni e+e-, misure di massa e larghezza del bosone Z, Asimmetria FB di Z e weak mixing angle, il collider LEP, Massa e larghezza del bosone W. Velocità di decadimento del top quark, produzione di top ai collisionatori adronici, il bosone di Higgs e la sua scoperta.

### **ELEMENTARY PARTICLES PHYSICS 1**

*Introduction, particles and forces. Mandelstam variables, Fermi's golden rule, Lorentz invariant phase space, two-body decays, cross section. Klein-Gordon equation, Dirac equation, probability density and covariance. Solutions to the Dirac equation for an electron at rest. General solutions of the Dirac Equation, Antiparticles and its spinor, normalisation of the wavefunction. Spin and Helicity. Interaction by particle exchange, time-ordered 2->2 matrix element, Feynman diagrams, examples and algebra of matrices. Parity operator, Range of forces, Yukawa potential, QED matrix element for electron-tau scattering, Feynman rules for QED. QED as a perturbative theory, Spin sums in e+e- to mu+mu- annihilation, the e+e- to mu+mu- cross section and its Lorentz-invariant form, examples of application of the Feynman rules. Chirality Operator, Charge Conjugation. Electron-proton elastic scattering: Rutherford, Mott, Rosenbluth formulae, Form factors. Electron-proton elastic scattering at high- $Q^2$ , e-p inelastic scattering, e-p inelastic scattering at low- $Q^2$  and high- $Q^2$  (DIS), Bjorken scaling and Callan-Gross relation, Electron-quark scattering. Quark-Parton Model, Parton Density Functions, Valence and Sea quarks, electron-proton scattering at HERA. Symmetries and Conservation laws,  $SU(2)$  flavour symmetry, 2 and 3 quarks combinations in  $SU(2)$ , Light quark (ud) baryons and mesons.  $SU(3)$  flavour symmetry, Gell-Mann matrices, Ground state light quark (uds) Mesons and Baryons, Hadron mass and constituent mass. Local gauge invariance in QED and QCD, Colour*

in QCD, colour confinement, Meson and Baryon colour wavefunctions, Gluons, quark-gluon and gluon-gluon interactions, Hadronisation and jets, hadroproduction in e+e- collisions. Running coupling constants in QED and QCD, Asymptotic freedom. Colour factors. Hadronic collisions and Drell-Yan. Jet production in hadronic collisions. Rapidity and pseudorapidity, Drell-Yan process, Parity in QED and QCD matrix elements, Parity Violation in weak-interactions. V-A structure of the weak interaction, Chiral properties of V-A, W boson propagator, Fermi theory, Helicity in pion decay and evidence for V-A, lepton universality of the electroweak coupling. (Anti)Neutrino-quark scattering, neutrino-nucleon cross sections, CDHS experiment. Neutrino mass and flavour eigenstates, Neutrino oscillations in 2 and 3 families, Phenomenology of neutrino experiments. CP violation in neutrino mixing, PMNS matrix, Neutrino oscillation experiments and determination of the PMNS parameters and masses. Quark mixing in weak interactions, Cabibbo angle and GIM mechanism, CKM matrix and its representations. Neutral kaons system. Kaon oscillations, CP violation in oscillations and decays. B and B\_s oscillations, B factories. W boson decay width and branching ratios. Electroweak SU(2)\_L gauge structure, Neutral current, Electroweak unification, the Z boson. Breit-Wigner resonance, Z production cross section in e+e- collisions, measurements of Z boson mass and width, Z FB asymmetry and weak mixing angle, the LEP collider, W boson mass and width. Decay rate of the top quark, top quark production at hadronic colliders, Higgs boson and its discovery.

Testi consigliati

Suggested textbooks: M. Thomson "Modern Particle Physics" (main textbook). Perkins "Introduction to High Energy Physics", F. Halzen & A. Martin: "Quarks and Leptons";

\* \* \* \* \*

**FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI 2 (6 Cfu)**

Prof.<sup>ssa</sup> Anna Di Ciaccio

Il Modello Standard delle interazioni elettrodeboli e il meccanismo di Higgs. La corrente debole carica e neutra. L'angolo di Weinberg e le masse dei bosoni W. e Z. Test del Modello Standard a LEP e Tevatron. Osservazione del quark top al Tevatron. Scoperta del bosone di Higgs ad LHC. Test del Modello Standard ad LHC. Ricerca di nuova fisica ad LHC. Prospettive ai futuri acceleratori: HL-LHC e Linear Collider.

**ELEMENTARY PARTICLES PHYSICS 2**

The Standard Model of electroweak interactions and the Higgs mechanism. Charged and neutral weak currents. The Weinberg angle and the Z and W bosons masses. Standard Model experimental tests at LEP and Tevatron. Observation of the quark top at Tevatron. Discovery of the Higgs boson at LHC. Test of the Standard Model at LHC. Search for new physics at LHC. Physics prospects at the next generation of accelerators: HL-LHC e Linear Collider.

\* \* \* \* \*

**FISICA DEL NEUTRONE E APPLICAZIONI (6 Cfu)**

Prof.<sup>ssa</sup> Carla Andreani

1. Il neutrone come particella elementare.

- Scoperta del neutrone

- Principali proprietà del neutrone.

## 2. Sorgenti di neutroni.

- Sorgenti da laboratorio, Reattori e Sorgenti a Spallazione

## 3. Strumentazione per scattering di neutroni

- Targhette, moderatori, componenti di beamlines
- Rivelatori per neutroni
  - Reazioni nucleari dirette, nucleo composto, risonanze
  - Sezioni d'urto neutroniche
  - Metodi per la rivelazione di neutroni lenti
  - Metodi per la rivelazione di neutroni veloci e spettroscopia
- Strumentazione geometria diretta
- Strumentazione geometria inversa

## 4. Scattering di neutroni

- Teoria dello scattering nucleari di neutroni *lenti*: generalità. La sezione d'urto di scattering. L'approssimazione di Born e lo scattering da un singolo nucleo. Definizione di sezione d'urto totale, parziale e doppio differenziale
- Scattering elastico e diffrazione alla Bragg
- Scattering inelastico (coerente; ed incoerente)
- Spettroscopia di neutroni, elettroni ed X.
- Sezione d'urto coerente ed incoerente.
- Fattore di struttura dinamico.
- Scattering da liquidi e amorfi. Spettroscopia di neutroni, elettroni ed X.
- Scattering fortemente inelastico: Deep Inelastic Neutron Scattering (DINS)

## 5. Scattering di neutroni applicato allo studio della materia condensata e dei materiali

- Radiografia (imaging) e tomografia neutronica.
- Soft Error nei dispositivi elettronici causati dall'interazione con neutroni veloci
- Studio delle tensioni residue di bulk nei materiali di interesse storico artistico

## **NEUTRON PHYSICS AND NEUTRON INSTRUMENTATION**

### 1 . *The neutron as an elementary particle.*

- *Discovery of the neutron*
- *Main properties of the neutron.*

### 2 . *Neutron sources .*

- *Laboratory Sources, Reactors and Spallation Sources*

### 3 *Instrumentation for neutron scattering*

- *Tablets, moderators , beamlines components*
- *Detectors for neutron*
- *direct nuclear reactions , compound nucleus , the resonances*
- *neutron cross sections*
- *methods for the detection of slow neutrons*
- *methods for the detection of fast neutrons and spectroscopy*
- *Direct geometric instrumentation*

- *Inverse geometric instrumentation*

#### 4 . *Neutron scattering*

- *Theory of nuclear scattering of slow neutrons : generality. The scattering cross section . The Born approximation and scattering by a single nucleus. Definition of total cross section , partial and double differential*
- *Elastic scattering and Bragg diffraction*
- *Inelastic scattering ( coherent and incoherent )*
- *Spectroscopy of neutrons, electrons and X*
- *Coherent and incoherent cross section.*
- *Dynamic structure factor .*
- *Scattering from liquid and amorphous . Spectroscopy of neutrons, electrons and X*
- *Strongly inelastic scattering: Deep Inelastic Neutron Scattering (DINS)*

#### 5 . *Neutron scattering applied to the study of condensed matter and materials*

- *Radiography (Imaging) and neutron tomography .*
- *Soft Error in electronic devices caused by the interaction with fast neutrons*

*Study of bulk residual stresses in material of historical and artistic interest*

\* \* \* \* \*

### **FISICA MEDICA (6 Cfu)**

*Prof. Livio Narici*

Fondamenti di analisi dei segnali ed analisi statistica dei dati sperimentali. Tecniche non invasive per l'osservazione della attività fisiologica: limiti e prospettive. Cenni di: NMR, TAC, PET, EEG, MEG, ECG, EMG, etc. I segnali fisiologici, generazione, tecniche di misura e di analisi. Verranno illustrati esempi tratti dalla recente letteratura. Verranno quindi forniti agli studenti dei dati fisiologici da analizzare e sui quali svolgere una relazione che costituirà base fondamentale dell'esame.

### **MEDICAL PHYSICS**

*Introduction to data analysis and to the statistical analysis of experimental data. Non invasive techniques for the study of the physiological functionality: limits and perspectives. Brief introduction to NMR, TAC, PET, EEG, MEG, ECG, EMG, etc. Physiological signals: Evoking techniques, generation mechanisms, measurement and analysis techniques. Paradigmatic examples from recent literature will be studied. Physiological data will be provided to the students for the analysis, which will be the object of a written essay. This essay will be the fundamental basis for the final exam.*

\* \* \* \* \*

### **FISICA NUCLEARE (6 Cfu)**

*Prof.<sup>ssa</sup> Annalisa D'Angelo*

Spettroscopia adronica: teoria della diffusione, ampiezza in onde parziali e sezione d'urto. Diagrammi di Argand e risonanze. Esempi di risonanze barioniche. Diffusione pione-nucleone. Dalitz plot e formazione di risonanze. I quark costituenti. SU(3) e modello a quark. La struttura interna dei

nucleoni: I fattori di forma. Deflessione elastica ed anelastica degli elettroni su nuclei e nucleoni. Deflessione profondamente anelastica e funzioni di struttura dei nucleoni. Modello a partoni. Diffusione profondamente anelastica dei neutrini. Funzioni di distribuzione dei quark e degli anti-quark. Diffusione profondamente anelastica di sonde polarizzate su bersagli polarizzati. Asimmetrie e funzioni di struttura  $g_1$  e  $g_2$ . Gli esperimenti di diffusione profondamente anelastica con e senza polarizzazione. La risonanza magnetica nucleare. I bersagli polarizzati. Interazione nucleone-nucleone. Operatori di scambio. Diffusione nucleone-nucleone. Il deutone.

### **NUCLEAR PHYSICS**

*Hadron spectroscopy: scattering theory, partial wave amplitudes and cross sections. Argand plots and resonances. Examples of baryonic resonances. Constituent quarks. SU(3) and quark models. Internal nucleon structure: form factors. Elastic and inelastic electron scattering on nucleons and nuclei. Deep inelastic scattering and nucleon structure functions. Parton model. Neutrinos deep inelastic scattering. Quark and anti-quark distribution functions. Longitudinally polarized deep inelastic scattering. Asymmetries and  $g_1$  and  $g_2$  polarized structure functions. Deep inelastic experiments with un-polarized and polarized beams and targets. Nuclear Magnetic Resonance. Polarized targets. Nucleon-nucleon interactions. Exchange operators. Nucleon-nucleon scattering. The deuteron.*

#### Testi consigliati

*"Nuclear and Particle Physics" W.E. Burcham and M. Jobs. Longman Scientific & Technical.*

*"The Structure of the Nucleon" Anthony W. Thomas and Wolfram Weise. Wiley-VCH.*

*Selected journal papers.*

\* \* \* \* \*

### **FISICA TEORICA SPECIALISTICA (6 Cfu)**

*Dott. Raffaele Savelli*

Corso monografico su argomenti in fisica teorica delle particelle elementari, delle stringhe, della materia condensata, dei sistemi complessi e dei sistemi astrofisici e cosmologici. Gruppi e loro rappresentazioni. Gruppi di ordine finito, gruppi cristallografici. Gruppi di Lie, classificazione di Cartan, rappresentazioni. Gruppi di trasformazioni delle coordinate. Applicazioni. Algebre infinito-dimensionali e loro rappresentazioni.

### **SPECIALIZED TOPICS IN THEORETICAL PHYSICS**

*Monographic course on modern arguments in theoretical physics of elementary particles, string theory, condensed matter, complex systems astrophysics and cosmology. Groups and their representations. Finite groups, Lie groups, Cartan classification. Coordinate transformations. Infinite dimensional algebras. Applications in quantum field theory and string theory.*

#### Testi consigliati

*Topical papers;*

*John F. Cornwell*

*Group Theory in Physics : An Introduction, Academic Press 1997*



\* \* \* \* \*

**GENETICA (6 Cfu)**

*Prof. Giovanni Cesareni*

La genetica e l'organismo. Gli esperimenti di Mendel. Teoria cromosomica dell'eredità. Segregazioni anomale dei fenotipi. Associazione. Mutazioni Geniche. Alterazioni della struttura dei cromosomi. Alterazioni del numero dei cromosomi. La struttura del DNA. Come funzionano i geni. Genetica batterica. Ricombinazione del DNA in vitro. Il controllo dell'espressione genica nei procarioti. Cenni di genetica delle popolazioni.

\* \* \* \* \*

**GRAVITATIONAL LENSING (6 Cfu)**

*Prof. Pasquale Mazzotta*

*Large scale structure of the Universe. Formation and dynamics of the cosmic web, of clusters and groups of galaxies. simple collapse models for the dark matter. Physics of intergalactic and intracluster gas. Heating and cooling mechanisms. Chemical enrichment of intergalactic and intracluster gas. Observations of clusters of galaxies in X-ray and microwave bands, Lyalpha and Xray-forest. Estimate of the mass of clusters of galaxies: dynamical methods, observations in Xray and microwave bands, gravitational lenses. Cosmology with clusters of galaxies: mass function, scaling laws.*

**LENTI GRAVITAZIONALI**

Struttura su grande scala dell'universo. Formazione e dinamica della ragnatela cosmica, degli ammassi e dei gruppi di galassie. Modelli semplici di collasso per la material oscura. Fisica del gas intergalattico e intracluster. Meccanismi di riscaldamento e raffreddamento. Arricchimento chimico del gas intergalattico e intracluster. Osservazione degli ammassi di galassie nelle bande a raggi X e delle microonde, ly\_alpha e Xray-forest. Stima della massa degli ammassi di galassie: metodi dinamici, osservazioni nelle bande a raggi X e delle microonde, lenti gravitazionali. Cosmologia con gli ammassi di galassie: funzione di massa, leggi di scala.

\* \* \* \* \*

**GRAVITATIONAL PHYSICS (6 Cfu)**

*Dr. Alessio Rocchi, Dr. Roberto Peron*

*Experimental fundamentals of gravitational physics. Newton force. Principle of Equivalence of gravitation and inertia. Isotropy and homogeneity of space and time. Gravitational redshift. Principle of Equivalence in General Relativity. Lorentz invariance. Theoretical consequences and experimental verification of constancy of G in time. Classical tests of General Relativity. Theories of gravitation: predictions and experimental tests. PPN formalism. Metric and non-metric gravitational theories. Brans-Dicke theory. Parameters measured in space and ground experiments. Deviation of light. Radar*

*echo delay. Long Baseline Interferometry. Lunar Ranging Experiment. Gravitomagnetic effect. Gravitational waves. Main methods of detection. Frontiers of gravitation. Final stages of stellar evolution. Gravitational collapse and its messengers. Predictions and experimental verification of the nature of the black holes. Detection of the stochastic background of gravitational waves. Gravity at large distances: experimental tests and theoretical interest.*

### **FISICA DELLA GRAVITAZIONE**

*Fondamenti sperimentali della fisica della gravitazione. La Forza di Newton. Il Principio di Equivalenza della Gravitazione e dell'Inerzia. Isotropia e omogeneità dello spazio e del tempo. Redshift gravitazionale. Il Principio di Equivalenza in Relatività Generale. Implicazioni teoriche e verifiche sperimentali della costanza nel tempo di G. Verifiche classiche della Relatività Generale. Teorie della gravitazione: previsioni e verifiche sperimentali. Formalismo PPN. Valori dei parametri principali in Relatività Generale. Teorie metriche e non metriche della gravitazione. Deviazione della luce. Ritardo dell'eco radar. Interferometria su grande base. Esperimento di Lunar Ranging. L'effetto gravito-magnetico e le basi sperimentali per la sua rivelazione. Le onde gravitazionali. Principali metodi di rivelazione. Le frontiere della gravitazione. Fasi finali dell'evoluzione stellare. Il collasso gravitazionale e i suoi messaggeri. Previsioni e verifiche sperimentali sulla natura dei buchi neri. La rivelazione del fondo stocastico di onde gravitazionali e le possibili informazioni sull'universo primigenio. La gravità a grandi distanze: interesse teorico e verifiche sperimentali.*

\* \* \* \* \*

### **GRAVITATIONAL WAVES (6 Cfu)**

*Prof.<sup>ssa</sup> Viviana Fafone*

*Review of general relativity and of metric theories of gravitation: observable quantities. General relativity and the weak field approximation: the wave equation for the gravitational radiation. Astrophysical sources of gravitational waves, emitted waveforms and information obtainable experimentally. Stochastic background. Ground-based and space detectors and their main features. Experimental techniques in interferometric detectors. Introduction to data analysis techniques. Exploiting the synergies with electromagnetic and  $\nu$  observations: the multi-messenger approach.*

### **ONDE GRAVITAZIONALI**

*Richiami di Relatività Generale e di teorie metriche della gravitazione: quantità osservabili. La relatività generale in approssimazione di campo debole: equazione d'onda per la radiazione gravitazionale. Sorgenti astrofisiche di onde gravitazionali, forme d'onda previste ed informazioni ottenibili sperimentalmente. Fondo stocastico. Rivelatori terrestri e spaziali e loro principali caratteristiche. Approfondimento di tecniche sperimentali in rivelatori interferometrici. Basi di analisi dati. Sinergie con esperimenti di tipo elettromagnetico e neutrino: l'approccio multi-messenger.*

Testi consigliati

*M.*

*Maggiore: Gravitational Waves – Volume 1: theory and experiments*

*P.R.*

*Saulson: Fundamentals of Interferometric Gravitational Wave Detectors*

\* \* \* \* \*

**GRAVITAZIONE SPERIMENTALE (6 Cfu)**

Prof. Massimo Bassan

Gravità Newtoniana: misure e possibili violazioni-multipoli- $J_2$  del sole. Principio di Equivalenza debole e forte: esperimento di Eotvos, forze di marea, Lorentz Invariance. Relatività Generale (GR) in approssimazione lineare-limite newtoniano-PPN-componenti elettriche e magnetiche del tensore metrico-campo di massa sferica GR: 5 verifiche classiche. Pulsar binarie: laboratori di GR. Onde gravitazionali in GR: quadrupolo oscillante e rotante, sorgenti, rivelatori risonanti e dinterferometrici. Rivelazione di campi gravitomagnetici.

**EXPERIMENTAL GRAVITATION WITH LABORATORY (6 Cfu)**

Newtonian gravity: measurements and possible violations; multipole expansion of the gravity field-the  $J_2$  of the Sun. Equivalence Principle weak and strong: Eotvos experiments, tidal forces, Lorentz Invariance. Linear approximation of General Relativity: Newtonian limit, metric of a spherical source mass. PPN, classical verifications in the Solar System. Gravitational Waves in GR: rotating quadrupole, sources, detectors (resonant, interferometric, space). Gravitomagnetic field and related experiments.

Testi consigliati

Ruffini- Ohanian: Space, Time, Gravitation

J Hartle: Gravity (Addison Wesley)

\* \* \* \* \*

**HIGH ENERGY ASTROPHYSICS (6 Cfu)**

Dott. Gianluca Israel, Dott. Marco Tavani

Introduction: history of X-ray and Gamma-ray astronomy; collimated vs. imaging instruments, angular, spectral and time resolution. Basics: emission mechanisms; degenerate stars (white dwarfs and neutron stars); black holes; accretion theory. Compact X-ray and Gamma ray sources: radio pulsars, X-ray binaries, isolated compact objects, magnetars. Brief introduction to high energy emission from non-degenerate stars, supernova remnants and galaxies of the local group. Gamma ray bursts. Practical session of data analysis.

**ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE**

Introduzione: storia dell'astronomia X e Gamma; contatori proporzionali, strumenti collimati, strumenti ad immagine, risoluzione angolare, energetica e temporale. Cenni di statistica dei segnali e di analisi temporale e spettrale nelle alte energie. Fondamenti: meccanismi di emissione e assorbimento; fisica della materia degenera e stelle degeneri (nane bianche e stelle di neutroni); cenni sulla fisica dei buchi neri; teoria dell'accrescimento, meccanismi di trasferimento di massa. Sorgenti stellari compatte di radiazione X e Gamma: pulsar radio, binarie a raggi X di piccola e grande massa, oggetti compatti isolati, magnetars, variabili cataclismiche. Cenni su emissione di alta energia da stelle non degeneri, resti di supernovae, AGN e galassie del gruppo locale. Lampi di raggi gamma. Esercitazione pratica di analisi dati nella banda X.

\* \* \* \* \*

**INTRODUZIONE ALLA CRESCITA DEI CRISTALLI (6 Cfu)**

*Dott. Fabrizio Arciprete*

Mutuato dal CdLM in Scienza e Tecnologia dei Materiali

*Cristallo all'equilibrio: Sovrassaturazione, Equazione di Gibbs-Thomson, Equazione di Laplace, Teorema di Wulff, Cristallo su una superficie, Formula di Herring, Approccio atomistico alla crescita dei cristalli, Modello di Jackson. Nucleazione: Termodinamica della nucleazione, Nucleazione omogenea ed eterogenea, Velocità di nucleazione, Teoria atomistica della nucleazione. Crescita del cristallo: Crescita normale su superfici R, Crescita su superfici F, Crescita da fase vapore, Velocità di avanzamento di un gradino, Velocità di avanzamento di un treno di gradini, Crescita da una nucleazione bidimensionale, Crescita strato per strato, Barriera di Ehrlich-Schwoebel. Molecular Beam Epitaxy: Processo di crescita, Tecnica e reattori di crescita. Tecniche per il monitoraggio della crescita: RHEED e LEED.*

**INTRODUCTION TO CRYSTAL GROWTH**

*Crystal equilibrium: Supersaturation, Equation of Gibbs-Thomson, Equation of Laplace, Wulff Theorem, Crystal on a surface, Herring's Formula, Atomistic views on crystal growth, Model of Jackson. Nucleation: Thermodynamics, Homogeneous and heterogeneous nucleation, Rate of nucleation, Atomistic theory of nucleation. Crystal growth: Growth on R surfaces, Growth on F surfaces, Growth from vapor phase, Rate of advance of a step, Rate of advance of a train of steps, Growth by two-dimensional nucleation, Layer by layer growth, Ehrlich-Schwoebel barrier. Molecular Beam Epitaxy: Growth process, technology and reactors for MBE growth. Techniques for the growth monitoring: RHEED and LEED.*

\* \* \* \* \*

**INTRODUZIONE ALLA TEORIA DI STRINGHE (6 Cfu)**

*Dott. José Francisco Morales*

Quantizzazione della stringa bosonica. Superfici di Riemann. Ampiezze di vuoto. Stringhe fermioniche e proiezioni GSO. Compattificazioni. Operatori di vertice, ampiezze di scattering e matrice S. Gruppo di rinormalizzazione e azione effettiva. Dualità di stringa e M-teoria.

**INTRODUCTION TO STRING THEORY**

*Quantization of the superstring spectrum and partition functions. Vertex operators and scattering amplitudes. D-branes theory. Compactifications and low energy actions. Dualities and holography.*

Testi consigliati

*M. Green, J. Schwarz, E. Witten  
Superstring Theory  
Cambridge University Press, 1988*

\* \* \* \* \*

**IONIZING RADIATION FOR MEDICAL PHYSICS (6 Cfu)**Dott.<sup>ssa</sup> Cristina Morone

Radioactivity, interaction of radiation with matter. Range of particles. Methods of radiation detection, dosimetric quantities and their measurement. Biological effects of radiation. Objectives of the radiation protection and exposure limits. Concepts on external radiation protection and internal dosimetry. Dosimeters. Gas detectors: ionization chamber and Geiger counters.

Photographic emulsions and film-badge. Working principles of : TAC, SPECT, PET, NMR.

**RADIAZIONI IONIZZANTI PER LA FISICA MEDICA**

*La radioattività, interazione di radiazione con la materia. Range di particelle. Metodi per la rivelazione di radiazione, quantità di dosimetriche e loro misurazione. Effetti biologici della radiazione. Obiettivi della protezione dalla radiazione e limiti di esposizione. Concetti sulla protezione da radiazione esterna e dosimetria interna. Dosimetri. Rivelatori a gas: camera a ionizzazione e contatori Geiger. Emulsioni fotografiche e film-badge. Principi operativi di: TAC, SPECT, PET, NMR.*

Testi consigliati

*The Physics of Radiation Therapy by Faiz M Khan*

*Radiation Oncology Physics: an Handbook for teachers and Students; editor EB. Podgorsak, IAEA*

*Essentials of Nuclear Medicine Physics and Instrumentation, Rachel A. Powsner, M. R. Palmer, E. R. Powsner. Wiley-Blackwell*

*Physics and Radiobiology of Nuclear Medicine, Gopal B. Saha, Springer.*

*Altri testi saranno consigliati a lezione*

\* \* \* \* \*

**ISTITUZIONI DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE (6 Cfu)**Prof.<sup>ssa</sup> Roberta Sparvoli

Fisica delle Particelle Elementari: concetti fondamentali. Stati eccitati e risonanze. Principi di invarianza, leggi di conservazione e simmetrie. Invarianza CPT. Interazione elettromagnetica, esperienze di diffusione. Interazione debole. Neutrini ed antineutrini. SU(3). I quark costituenti. Teoria del colore e cromodinamica quantistica. Mesoni e barioni come stati legati dei quark. Massa degli adroni. Modello standard e oltre. Accenni di cosmologia e nucleosintesi primordiale. Materia ed antimateria. Materia oscura.

**FUNDAMENTALS OF NUCLEAR AND SUBNUCLEAR PHYSICS**

*Elementary Particle Physics: Basic concepts. Excited states and resonances. Principles of invariance, conservation laws and symmetries. CPT invariance. Electromagnetic interaction, scattering. Weak interaction. Neutrinos and antineutrinos. SU(3). The constituent quarks. Quantum chromodynamics. Mesons and baryons as bound states of quarks. Mass of hadrons. Standard model and beyond. Hints of cosmology and primordial nucleosynthesis. Matter and antimatter. Dark matter.*

Testi consigliati

*Burcham and Jobes: "Nuclear and Particle Physics" - Longman Scientific Technical*

B. Povh, K. Rith, C. Scholz, F. Zetsche: *"Particelle e Nuclei"* – Bollati Boringhieri

Donald H. Perkins: *"Introduction to High Energy Physics"* – Cambridge University Press

Griffith: *"Introduction to Elementary Particles"* - John Wiley & Sons Inc

\* \* \* \* \*

### **LABORATORIO DI ELETTRONICA (8 Cfu)**

Dott. Paolo Camarri

Linee di trasmissione ideali e reali. Analisi di circuiti nei domini di Laplace e di Fourier. Segnali periodici. Segnali a tempo discreto. DTFT e criterio di Nyquist-Shannon. Trasformata zeta. Elaborazione a tempo discreto di segnali a tempo continuo. Analisi di sistemi lineari nel dominio delle trasformate. Strutture per sistemi digitali. Tecniche di progetto di filtri digitali. DFT e tecniche ottimizzate di calcolo (FFT).

### **ELECTRONICS LABORATORY**

*Ideal and real transmission lines. Circuit analysis in the Laplace and Fourier domains. Periodic signals. Discrete-time signals. DTFT and the Nyquist-Shannon criterion. Zeta transform. Discrete-time processing of time-continuous signals. Transform analysis of linear systems. Structures for digital systems. Digital-filter design techniques. The DFT and optimized computation techniques (FFT).*

#### Testi consigliati

R.E. Collin; *"Foundations for microwave engineering"*, ed. McGraw Hill

A. V. Oppenheim, R.W. Schaffer; *"Discrete-time signal processing"*, ed. Prentice Hall

\* \* \* \* \*

### **LABORATORIO DI FISICA BIOLOGICA (6 Cfu)**

Dott.<sup>ssa</sup> Velia Minicozzi

Dinamica Molecolare classica. Spettroscopia di assorbimento UV-VIS; CD, FTIR, Raman, Fluorescenza. Microscopia a forza atomica; Spettroscopia X; EPR; NMR. Alcune tecniche di biologia molecolare (lezioni teoriche) per la purificazione e il sequenziamento delle proteine. Esercitazioni pratiche sia al computer (dinamica molecolare e analisi dati XAS) sia in laboratorio (presso gruppi di ricerca dei Dip. di Fisica e Biochimica) su macromolecole o sistemi modello.

### **BIOPHISICS LABORATORY**

*Classical Molecular Dynamics. UV-VIS absorption spectroscopy, CD, FTIR, Raman, Fluorescence. Atomic Force Microscopy; X-ray absorption spectroscopy; EPR; NMR. Molecular biology techniques (teoretical lectures) to purify and sequencing proteins. Experiments (UV-Vis, CD, Fluorescence and AFM) on macromolecules and Molecular Dynamics simulations.*

#### Testi consigliati

Cantor, Schimmel, *Biophysical Chemistry Part II*

\* \* \* \* \*

**LABORATORIO DI FISICA DELL'ATMOSFERA (8 Cfu)***Dott.<sup>ssa</sup> Stefania Argentini*

Fondamenti fisici e fenomenologici e caratteristiche dello strato limite atmosferico

Descrizione statistica della turbolenza

Analisi energetica dello strato limite atmosferico

Modellizzazione dello strato limite atmosferico

La teoria della similarità e lo strato limite atmosferico

La struttura dello strato limite atmosferico

**LABORATORY OF ATMOSPHERIC PHYSICS**

Definition and characteristics of the atmospheric boundary layer

Statistical description of the turbulence

Energy analysis of the atmospheric boundary layer

Models of the atmospheric boundary layer

Similarity theory of the atmospheric boundary layer

The structure of the atmospheric boundary layer

Testi consigliati*Dispense: "Lo strato limite atmosferico, teoria e misure" Stefania Argentini, Roberto Sozzi**"Boundary Layer Meteorology" Roland Stull*

\* \* \* \* \*

**LABORATORIO DI FISICA DELLA MATERIA (8 Cfu)***Prof. Roberto Senesi*

1. Studio delle proprietà strutturali ed elettroniche delle superfici pulite e degli strati sottili in Ultra Alto Vuoto. Spettroscopie elettroniche (LEED, Auger, RHEED, fotoemissione) ed ottiche (ellissometria, SDR: Surface Differential Reflectance, RAS: Reflectance Anisotropy spectroscopy) per lo studio delle superfici. Microscopie (SEM, TEM, STM, AFM).

2. Studio dell'interfaccia solido/liquido. Microscopio a scansione a effetto tunnel in cella elettrochimica (EC-STM).

3. Cenni di Tecnologia del Vuoto. Il corso prevede che gli studenti (divisi in piccoli gruppi) seguano due esperimenti presso i laboratori di altrettanti gruppi di ricerca, partecipando alla acquisizione dei dati e alla discussione dei risultati, su cui presenteranno due relazioni che saranno valutate in sede di esame finale.

**MODERN APPLIED PHYSICS**

1. *Study of structural, optical and electronic properties of bulk and surface of condensed matter systems. Neutron and X-Ray spectroscopies. Surface electronic spectroscopies (LEED, Auger, RHEED, photoemission) and surface optical spectroscopies (ellipsometry, SDR:*

*Surface Differential Reflectance, RAS: Reflectance Anisotropy spectroscopy). Microscopies (STM, AFM).*

2. *The Solid/liquid interface. The Scanning Tunneling Microscope.*
3. *Simulations of neutron scattering experiments for condensed matter studies*

*The students will be involved in eight experiments performed in eight laboratories. In particular, they will contribute to the data acquisition and to the discussion of results. In conclusion, they will prepare a report, that will be evaluated for the final exam.*

\* \* \* \* \*

### **LABORATORIO DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE (8 Cfu)**

*Prof.ssa Anna Di Ciaccio*

*Interazione radiazione-materia. Caratteristiche dei rivelatori di particelle e loro applicazioni ad esperimenti di fisica nucleare e subnucleare.*

- Scintillatori, linearità e costante di Birks.
- Calorimetri elettromagnetici ed adronici. Risoluzione in energia e compensazione.
- Rivelatori a gas: camera ad ionizzazione, contatore proporzionale, camera a multifilo, camera a deriva TPC, RPCs.
- Rivelatori a semiconduttore
- Identificazione delle particelle: rivelatori a luce Cerenkov ed immagine Rich.

### **LABORATORY OF NUCLEAR AND SUBNUCLEAR PHYSICS**

*Interaction radiation-matter. Detectors and their use in nuclear and subnuclear physics*

- *Scintillators organic and inorganic, Birks constant.*
- *Electromagnetic and hadronic calorimeters: energy resolution, compensation*
- *Gas detectors: Ionization chamber, Proportional counter, multi-wire chamber, drift chamber, TPC, RPC*
- *Semiconductor detectors*
- *Particle identification: Rich and Cerenkov detectors*

*The course includes small experiments in laboratory.*

#### Testi consigliati

*Leo: Techniques for nuclear and particle physics experiments*

\* \* \* \* \*

### **MATERIALI E FENOMENI A BASSE TEMPERATURE (6 Cfu)**

*Prof. Matteo Cirillo*

*Mutuato da Materiali Superconduttori - CdLM in Scienza e Tecnologia dei Materiali*

*Elementi di criogenia e delle tecniche di raffreddamento dei gas. Isentropic and isenthalpic cooling. Raffreddamento isentalpico ed isoentropico. Liquefazione e proprietà degli isotopi dell'elio.*



*Scambiatori di calore, motori ad espansione, refrigeratori a diluizione. Smagnetizzazione adiabatica e nucleare. Termometria a basse temperature. Superconduttori del I e del II tipo. Proprietà magnetiche dei superconduttori. Il modello di London e la teoria fenomenologica di Landau-Ginsburg. Superconduttività debole (effetto Josephson e SQUIDS). I cuprati e le altre nuove famiglie di materiali superconduttori. La superconduttività a bassa dimensionalità.*

### **LOW TEMPERATURE MATERIALS AND PHENOMENA**

*Principles of cryogenic techniques and gas cooling. Isentropic and isenthalpic cooling. The properties of Helium isotopes. Heat exchangers, expansion engines, dilution refrigerators. Atomic and nuclear adiabatic demagnetization. Low temperature thermometry. Type I and type II superconductors. Magnetic properties of superconductors. London model and phenomenological Landau-Ginsburg equations. Weak superconductivity (Josephson effect and SQUIDS). Cuprates and other families of new superconductive materials. Low dimensionality superconductors.*

#### Testi consigliati

*G. White, Experimental techniques in low temperature physics, Clarendon, Oxford*

*P. G. De Gennes, Superconductivity of metals and alloys, Benjamin (new ed. 1989)*

*Appunti dalle lezioni*

\* \* \* \* \*

### **MATERIALS SCIENCE (8 Cfu)**

*Prof. Maurizio De Crescenzi*

The program of the course includes: The most important class of materials

The cycle of materials

Cohesion forces, matter condensation

The crystalline state, glasses and other aggregation states.

X-ray diffraction, Bragg law and Miller indices

Scanning Electron Microscopy, Transmission Electron Microscopy,

EXAFS analysis, radial distribution function.

Defects, dislocations and grain boundary.

The molecular structure of organic polymers and their spatial configuration.

Silicate glasses, mineral glasses and cement. Relation between thermo-dynamical variation and atomic variation of the atomic structure: deformation of a perfect crystal, elastic deformation of materials and rubber. Visco-elastic diagram. Solid solution. Phase diagram of mixed compounds.

Metallic alloys, ceramic alloys, copolymers.

Mechanical properties, materials resistance, stress and strain deformation energy and inelastic effects. Plastic deformation of materials at low temperatures: stress and slip plane.

Deformation at high temperature, viscoelasticity at high temperature: polymers.

Thermal conductivity, electrical conductivity.

Semiconductors, junctions, diodes, transistors, solar cells, laser.

Metals: magnetic properties. Superconductors.

Laboratory experiments: Scanning Tunneling Microscopy, the synthesis and growth of a nano material: carbon nanotubes, Auger and XPS spectroscopy of a stainless steel. Indentation. Construction and assembly of a solar cell of the third generation. X-ray diffraction and Bragg's law occurs. Experience on different materials of the stress-elongation graph. Optical properties of different colored glass and crystalline silicon.

### **SCIENZA DEI MATERIALI**

*Il programma del corso comprende: Le più importanti classi di materiali*

*Il ciclo di materiali. Forze di coesione, condensazione dei materiali.*

*Lo stato cristallino, vetroso e altri stati di aggregazione .*

*Diffrazione dei raggi X, la legge di Bragg e indici di Miller.*

*Scanning Electron Microscopy , Transmission Electron Microscopy ,*

*Analisi EXAFS, funzione di distribuzione radiale .*

*Difetti, e bordi grano.*

*La struttura molecolare dei polimeri organici e loro configurazione spaziale .*

*Vetri silicati, vetri minerali e cemento. Relazione tra variazione termo -dinamico e variazione della struttura atomica: deformazione di un cristallo perfetto, la deformazione elastica dei materiali e gomma. Schema Visco- elastico. Soluzione solida. Diagramma di fase di composti misti.*

*Leghe metalliche, leghe ceramiche, copolimeri.*

*Proprietà meccaniche, resistenza dei materiali, lo stress e la tensione di deformazione di energia e gli effetti anelastici. La deformazione plastica dei materiali a basse temperature : piano di stress e di sbandamento .*

*Deformazione ad alta temperatura, viscoelasticità ad alta temperatura : polimeri .*

*Conducibilità termica, conducibilità elettrica.*

*Semiconduttori, giunzioni, diodi, transistor , celle solari, laser.*

*Metalli: le proprietà magnetiche. Superconduttori.*

*Esperienze di laboratorio: Scanning Tunneling Microscopy , la sintesi e la crescita di un materiale nano : i nanotubi di carbonio , Auger e spettroscopia XPS di un acciaio inossidabile. Indentazione. Costruzione e assemblaggio di una cella solare di terza generazione. Diffrazione dei raggi X e verifica legge di Bragg. Esperienza su diversi materiali del grafico sforzo-elongazione. Proprietà ottiche di diversi vetri colorati e del silicio cristallino.*

#### Testi consigliati:

*W.E.Callister Jr.*

*"Materials Science and Engineering: An Introduction",*

*John Wiley and Sons, New York ISBN 0471- 58128 -3*

*L.H.Van Vlack*

*"Elements of Materials Science and Engineering"*

\* \* \* \* \*

### **MATHEMATICAL METHODS FOR PHYSICS (8 Cfu)**

*Dott.ssa Marina Migliaccio*

- 1 - From finite dimensional linear spaces to infinite dimensional ones.
- 2 - Theory of linear operators. Spectral decomposition.
- 3 - Fourier and Laplace transforms.
- 4 - First and second order ordinary linear differential equations and the Green's function method.
- 5 - Integral equations of the Fredholm and Volterra type.

\* \* \* \* \*

### **MECCANICA QUANTISTICA 2 (9 Cfu)**

*Prof. Emanuele Pace – Dott. Nazario Tantalò*

Postulati della meccanica quantistica. Rappresentazioni. Oscillatore tridimensionale. Metodi variazionali. Diffusione da potenziale. Stati stazionari. Pacchetti d'onda. Sezione d'urto. Onde parziali. Teorema ottico. Equazione di Lippmann-Schwinger. Serie di Born. Equazione di Klein-Gordon. Antiparticelle. 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.

### **QUANTUM MECHANICS 2**

*Postulates of quantum mechanics. Representations. Tridimensional harmonic oscillator. Variational methods. Scattering from a potential source. Stationary states. Wave packets. Cross section. Partial waves. Optical theorem. Lippmann-Schwinger equation. Born series. Klein-Gordon equation. Antiparticles. Dirac equation. Non-relativistic limit. Infinitesimal Lorentz transformations. Conserved current. Bilinear covariants. Dirac particles in an external e.m. field. Charge conjugation. Parity and time reversal. Weyl equation.*

#### Testi consigliati

*"Quantum Mechanics", Cohen-Tannoudji, Diu, Laloe, John Wiley & Sons*

*"Quantum Collision Theory", C. J. Joachain, North Holland*

*"Relativistic quantum mechanics", W. Greiner, Springer, 2000*

\* \* \* \* \*

### **MECCANICA STATISTICA 2 (6 Cfu)**

*Prof.ssa Rossana Marra*

Introduzione alle transizioni di fase. Modello di Ising. Argomento di Peierls. Teoria di campo medio per il modello di Ising. Trasformazione di dualita'. Soluzione di Onsager. Gruppo di rinormalizzazione. Blocchi di spin e teorema del limite centrale. Leggi di scala ed esponenti critici. Elementi di teoria della percolazione. Altri modelli: Modello Gaussiano, Rotatore piano. Modelli di teorie di gauge. Metodi di simulazione numerica. Tempi di rilassamento. Efficienza di un algoritmo. Algoritmi Montecarlo: dinamica di Glauber e di Kawasaki. Elementi di dinamica dei fluidi. Teoria cinetica. Equazione di Boltzmann. Entropia e teorema H. . Relazione con l'idrodinamica.

**STATISTICAL MECHANICS**

*Phase transitions: introduction. Ising Model. Peierls result.. Mean field theory. Rigorous results on the Ising model. Renormalization group and spin blocks. Boltzmann equation. H theorem. Hydrodynamics.*

\* \* \* \* \*

**METODI MATEMATICI DELLA FISICA 2 (9 Cfu)**

*Prof. Gianfranco Pradisi*

Complementi di teoria delle funzioni di variabile complessa. Indicatore logaritmico e formula di Lagrange. Espansioni di Mittag-Leffler e di Sommerfeld-Watson. Prodotti infiniti ed espansioni di Weierstrass. Sviluppi asintotici. Metodo di Laplace e metodi di punto di sella. Equazioni differenziali ordinarie. Funzioni di Green. Problemi di Sturm-Liouville. Serie e trasformate di Fourier e di Laplace. Funzioni speciali. Funzioni Gamma, Beta e Zeta. Funzioni ipergeometriche. Funzioni di Bessel. Cenni alle funzioni ellittiche. Equazioni differenziali alle derivate parziali. Problemi ben posti e soluzioni fondamentali. Soluzione di problemi al contorno. Distribuzioni e loro applicazioni alle Equazioni Differenziali. Operatori lineari su spazi di Hilbert. Teorema di Riesz. Teoria spettrale. Spettri puntuale, residuo, continuo.

Esempi di operatori in  $\ell^2$ , di operatori differenziali e di operatori integrali. Modi nulli e teorema dell'alternativa.

**MATHEMATICAL METHODS FOR PHYSICS 2**

*Complements of the theory of functions of a complex variable. Logarithmic indicator and Lagrange's formula. Mittag-Leffler theorem and Sommerfeld-Watson expansion. Infinite products and Weierstrass expansions. Asymptotic expansions. Laplace method and saddle point techniques. Ordinary differential equations. Green's functions. Sturm-Liouville problems. Fourier and Laplace transforms. Gamma, Beta and Zeta functions. Hypergeometric functions. Bessel functions. Elliptic functions. Partial differential equations. Fundamental solutions. Boundary value problems. Distributions and Their Applications to Differential Equations. Linear operators on Hilbert spaces. Riesz's theorem. Spectral theory. Examples of operators in  $\ell^2$ , of differential operators and of integral operators. Null vectors and the theorem of alternative.*

Testi consigliati

*G. Pradisi, "Lezioni di Metodi Matematici della Fisica", Edizioni della Normale 2012.*

*C. Bernardini, O. Ragnisco, P.M.Santini "Metodi Matematici della Fisica", La Nuova Italia Scientifica.*

*E.T. Whittaker, G.N. Watson, "A Course of Modern Analysis", Cambridge M.A.*

*G.F. Carrier, M. Krook, C.E. Pearson, "Function of a Complex Variable", SIAM Ed.*

\* \* \* \* \*

**METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA RICERCA DI PROCESSI RARI (6 Cfu)**

*Dott. Pierluigi Belli*

Introduzione ad alcune delle tematiche più significative: l'investigazione sui neutrini solari,

sulla Materia Oscura dell'Universo, sugli assioni solari, sui processi di decadimento doppio beta, sulla stabilità della materia e su altri decadimenti rari. Metodologie principali per la progettazione di un esperimento efficace. Analisi delle principali tecniche sperimentali dedicate. Descrizione comparativa di alcuni esperimenti noti e cenno alle caratteristiche necessarie per gli apparati sperimentali della prossima generazione.

### **UNDERGROUND TECHNOLOGIES**

*Introduction to some of the most significant items: investigation on solar neutrinos, on the dark matter of the Universe, on solar axions, on the double beta decay processes, on the stability of matter and on other rare decays. Principal methodologies for an effective design of a reliable experiment. Analysis of the main dedicated experimental techniques. Comparative description of some well-known experiments and mention to the characteristics required for the experimental devices of the next generation.*

\* \* \* \* \*

### **MICROELETTRONICA (6 Cfu)**

*Dott. Davide Badoni*

Introduzione al progetto analogico.

Modelli semplificati di circuiti elettronici a dispositivi attivi.

Fisica di base del dispositivo "MOSFET".

Panoramica sui dispositivi e tecnologie di processo CMOS.

Introduzione alla trattazione del rumore elettrico nei circuiti.

Strumenti per la simulazione di circuiti analogici (Spice e Spectre).

Metodologie e tecniche di progettazione.

Flusso di progettazione: disegno schematico, simulazione, layout.

Tecniche di layout specifiche per circuiti analogici.

Amplificatori, classificazioni generali e tipi di amplificatori: in tensione, in corrente, a trans-conduttanza, a trans-resistenza.

Circuiti di base nella progettazione analogica.

Amplificatori a singolo stadio.

Specchi di corrente.

Amplificatore Operazionale a trans-conduttanza (OTA).

Classi di amplificazione di potenza: A, AB, B e C.

Esempi applicativi:

- Front-End per rivelatori di particelle negli esperimenti di fisica per le alte energie
- VLSI neuromorfo (reti neuronali).

### **MICROELECTRONICS**

*Introduction to the analog design.*

*Simplified models of electronic circuits with active devices.*

*Basic physics of the "MOSFET" device.*

*Overview of devices and CMOS process technologies.*

*Introduction to the discussion of the electrical noise in circuits.*

*Tools for analog circuit simulation (Spice and Spectre).*

*Methodologies and design techniques.*

*Design-flow: schematic entry, simulation, layout.*

*Layout specific techniques for analog circuits.*

*Amplifiers, general classifications and types: voltage amplifiers, current amplifiers, trans-conductance amplifiers, trans-resistance amplifiers.*

*Basic circuits in analog design.*

*Single-stage amplifiers.*

*Current mirrors.*

*Operational Trans-conductance Amplifier (OTA).*

*Classes of power amplification: A, AB, B and C.*

*Application examples:*

- *Front-End for particle detectors in experiments of high energy physics.*
- *Neuromorphic VLSI (neural networks).*

*Testi consigliati*

- *Microelettronica 4/ed ISBN: 9788838668234 Autore: Richard C. Jaeger, Travis N. Blalock - Mc Graw Hill.*

- *Il rumore elettrico - Dalla Fisica alla Progettazione - Giovanni Vittorio Pallottino - Springer*

*Design of Analog CMOS Integrated Circuits - Razavi - Mc Graw Hill*

\* \* \* \* \*

**MICROSCOPIA E NANOSCOPIA (6 Cfu)**

Prof.<sup>ssa</sup> Anna Sgarlata

*Mutuato dal corso Microscopia e Nanoscopia - CdLM in Scienza e Tecnologia dei Materiali*

*Introduzione alla Scienza e Tecnologia su scala Nanometrica. Tecniche di Superficie in Ultra Alto Vuoto e Struttura delle Superfici Solide. La Microscopia di sonda a Scansione: in particolare la Microscopia a Scansione a Effetto Tunnel, in Vuoto e in Liquido (EC\_STM) e La Microscopia a Forza Atomica. In particolare sono individuati i principi teorici di funzionamento, l'apparato sperimentale e l'analisi dei dati e delle possibili informazioni deducibili dalle diverse tecniche di acquisizione. La Microscopia Elettronica: in particolare in Trasmissione (TEM) e in Scansione (SEM). Le Tecniche spettroscopiche basate sull'utilizzo dei fasci ionici quali il Cannone a Ioni Focalizzato (FIB). Le tecniche Ottiche sensibili alla superficie (Epiottica) quali la Spettroscopia di Riflettività Anisotropa (RAS) e la spettroscopia RAMAN. Per finire uno sguardo alle moderne tecniche di litografia su scala nanometrica quali la Nanolitografia basata sull'Autorganizzazione e la Nanostrutturazione Artificiale e Naturale dei materiali e delle Nanostrutture.*

**MICROSCOPY AND NANOSCOPY**

*Introduction to Science and Technology at the nanoscale. Techniques for Ultra High Vacuum and Surface Structure of Solid Surfaces. Scanning Probe Microscopy: in particular Scanning Tunnel Microscopy (STM) in Vacuum and in liquid (EC\_STM) and Atomic Force Microscopy. In particular we have identified the theoretical principles, the experimental apparatus and the analysis of data*

and possible information deducible from different acquisition techniques.

*Electron Microscopy: in particular transmission (TEM) and scanning (SEM). The Ion Spectroscopic techniques such as Focused Ion Beam(FIB). Optical techniques sensitive to the surface (Epioptics) such as Reflectance Anisotropic Spectroscopy (RAS) and Raman Spectroscopy. Finally a look at the modern techniques of lithography at the nanoscale , such as nanolithography and self assembled techniques for the nanostructuring .*

Testi consigliati

1. *Introduction to Nanoscale Science and Technology” Ed by M. Di Ventra, S. Evoy, J.R. Heflin Cap 1, Cap. 2, Cap. 4-6 Cap. 12*
2. *Grosso and Pastori Parravicini “Solid State Physics”, Cap 2*
3. *Microscopia SPM Dawn Bonnell: Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy: Theory, Techniques and Application Cap 2 tutto, Cap 3 tutto, Cap 4 tutto 3.*
4. *Microscopia STM C. J. Chen:’Introduction to Scanning Tunneling Microscopy’: Cap. 1 tutto,*
5. *Microscopia SPM Hamers, Ann. Phys Chem 1989 vol 40, pag 531 “Atomic Resolution Surface Spectroscopy with the Scanning Tunneling Microscope”*
6. *Microscopia Elettronica :Weile Zhou & Zhong Lin Wang “Scanning Microscopy for Nanotechnology Techniques and Applications” , Springer*
7. *G. Ertl, J. Küppers, “Low Energy Electrons and Surface Chemistry”, VCH, Weinheim (1985).*
8. *D. Briggs and M. Seah “Practical surface analysis“ Wiley, Chichester (1993)*

\* \* \* \* \*

**MISURE ED ANALISI DI BIOSEGNALI (6 Cfu)**

*Dott. Arturo Moletti*

Non sono richieste nozioni di Meccanica Quantistica

Segnali deterministici e stocastici. Sistemi lineari e non lineari. Analisi di Fourier, risposta in frequenza di un sistema lineare. Analisi di serie temporali discrete. Analisi tempo-frequenza (STFT, Wavelets, Matching Pursuit). Filtri nel dominio tempo-frequenza. Inferenza statistica, sensibilità e specificità di test diagnostici. Trasduttori ed elettrodi. Rumore ed interferenza, amplificatori bioelettrici. ECG, EMG ed EEG. Modelli matematici ed esperimenti: un esempio di ricerca applicata: biofisica del sistema uditivo, meccanica cocleare e misura di emissioni otoacustiche. Realizzazione di una tesina sull’esperimento svolto, che costituirà la base per l’esame finale.

**MEASUREMENTS AND ANALYSIS OF BIOSIGNALS**

*Deterministic and stochastic signals. Linear and nonlinear systems. Fourier Analysis, frequency response of a linear system. Analysis of discrete time series. Time-frequency Analysis (STFT, Wavelets, Matching Pursuit). Time-frequency domain filtering. Statistical inference, sensitivity and specificity of diagnostic tests. Transducers and electrodes. Noise and interference, bioelectric amplifiers. ECG, EMG and EEG. Mathematical models and experiments: an example of applied research: biophysics of the auditory system, cochlear mechanics and measurement of otoacoustic*

*emissions. The results of the experiment will be the object of a written essay, on which the final exam will be based.*

\* \* \* \* \*

### **MODELLISTICA NUMERICA (8 Cfu)**

*Dott.ssa Chiara Cagnazzo*

Scienza computazionale, errori ed incertezze , l'integrazione, la differenziazione  
Introduzione ai modelli di circolazione generale dell'atmosfera, le equazioni , Onde in atmosfera ,  
soluzioni esatte delle equazioni linearizzate, onde acustiche, onde inerzio-gravita', le onde di gravita'  
interne, onde di Lamb , onde di Rossby , onde di gravita' superficiali, filtraggio ed equazioni  
approssimate, equazioni primitive  
Concetti di base della discretizzazione , Approssimazioni alle differenze finite per Trasporti 1D ,  
metodi multi- stage e multi-step, accuratezza e consistenza , stabilità e convergenza , metodo  
dell'energia , metodo Von Neumann, criterio CFL , differenziazione spaziale per equazione avvezione ,  
dissipazione , dispersione , approssimazioni discrete all'equazione dell'avvezione , il metodo di Lax-  
Wendroff , diffusione sorgenti e pozzi , l'equazione di avvezione-diffusione  
Leggi di conservazione e metodo dei volumi finiti , L'equazione di Burger  
Trasporto in piu' dimensioni , equazione shallow water, griglie staggered , tre o più variabili  
indipendenti , equazione avvezione in due dimensioni , equazioni lineari a coefficienti variabili,  
Aliasing  
Equazione di vorticità , funzione di corrente , analisi di scala , la soluzione numerica della Barotropic  
Vorticity Equation , Jacobiano di Arakawa, conservazione energia e enstrofia  
Metodi sviluppo in serie, metodo spettrale sulla sfera  
Metodi semilagrangiani  
GCM e parametrizzazioni fisiche, radiazione, convezione, flussi superficiali , mixing turbolento  
Analisi e valutazione dei modelli climatici : la morfologia del clima, budget e cicli, studi di processi  
specifici  
Predicibilità , previsioni ( meteo , stagionali , decennali : ruolo dell'oceano e del coupling dinamico  
oceano-atmosfera - ghiaccio) , proiezioni a lungo termine

### **NUMERICAL MODELS**

Computational science basis, errors and uncertainties, integration, differentiation  
Introduction to general circulation models of the atmosphere, governing equations, Wave motion in  
the atmosphere, Exact Solutions of the Linearized Equations, acoustic waves, inertial gravity waves,  
pure internal gravity waves, Lamb wave, Rossby waves, surface gravity waves, Filtering  
Approximations, Approximate Equation Sets, primitive equations  
Basic concepts of discretization, Finite-Difference Approximations for One-Dimensional Transport,  
multi-stage and multi-step methods, Accuracy and Consistency, Stability and Convergence, The  
Energy Method, Von Neumann Method, CFL condition, Space Differencing for Simulating Advection,  
dissipation, dispersion, Fully Discrete Approximations to the Advection Equation, The Lax-Wendroff  
Method, Diffusion Sources and Sinks, Advection-Diffusion equation  
Conservation Laws and Finite-Volume Methods, The Burger equation



Beyond One-Dimensional Transport, shallow water equation, staggered meshes, Three or More Independent Variables, Scalar Advection in Two Dimensions, Linear Equations with Variable Coefficients, Aliasing Error

Vorticity equation, streamfunction, scale analysis, Numerical solution of the Barotropic Vorticity Equation, Arakawa Jacobian energy and enstrophy conserving

Series-Expansion Methods, spectral method on the sphere

Semi-Lagrangian methods

GCMs and physical parameterizations, the Radiation Code, convection, surface fluxes, turbulent mixing

Analysis and evaluation of climate models: the morphology of climate, budgets balances and cycles, process studies

Predictability, Predictions (weather, seasonal, decadal: introducing ocean and/or coupled ocean-atmosphere-ice dynamics.), Projections (long-term)

#### Testi consigliati

*Haltiner and Williams, Numerical prediction and Dynamical Meteorology,, Eds John Wiley and sons, New York, 1980*

*Durrant, Numerical Methods for Fluid Dynamics, Springer, 2010*

*Müller, P., and H. von Storch, 2004: Computer Modelling in Atmospheric and Oceanic Sciences - Building Knowledge. Springer Verlag Berlin - Heidelberg - New York, 304pp, ISN 1437-028X*

*Predictability of Weather and Climate, EDS, Tim Palmer, Renate Hagedorn, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Academic, 2006*

\* \* \* \* \*

### **NUCLEAR SCIENCES AND APPLICATIONS (6 Cfu)**

*Dott. Dario Moricciani*

Energy and human development. Nuclear Energy: Fission and Fusion. Fissile materials and fission chain reactions. Principles of operation of a Fission Reactor: PWR and BWR. CANDU reactors with natural Uranium and Heavy water. Breeder reactors and the SuperPhoenix. Energy from Fusion. Basic conditions for a Fusion Reactor. Magnetic and Inertial confinement. The problem of Tritium supply. The Energy Amplifier. The military applications of Nuclear Energy.

Nuclear Magnetic Resonance, NMR: Nuclear Magnetization and radio frequency transitions. Nuclear relaxation. Magnetic Resonance Imaging, MRI, and its applications in medicine: excitations of the proton spin flips and detection of the de-excitation signals. Different imaging

techniques. Radio-Carbon dating. Calibration techniques for Radio-Carbon data. Detection of the radioactive decay of Carbon 14 and Accelerator Mass Spectrometry. Hadron Therapy for cancer treatment. The effect of ionizing radiation on human tissues. Protons and Heavy Ions vs X-rays. Standard Techniques to optimize the damage to sick tissues while minimizing collateral damage to nearby organs. The production of gamma-ray beams: Bremsstrahlung, Coherent Bremsstrahlung, Positron annihilation, Compton scattering in flight.

### **APPLICAZIONI DI FISICA NUCLEARE**

*Energia e sviluppo umano. Energia nucleare : fissione e fusione . Materiali fissili e reazioni di fissione a catena. Principi di funzionamento di un reattore di fissione : PWR e BWR. Reattori CANDU con uranio naturale ed acqua pesante. Reattori autofertilizzanti e Superphoenix. Energia da fusione. Condizioni di base per un reattore a fusione. Confinamento inerziale e magnetico. Il problema dell'approvvigionamento del trizio. Le applicazioni militari dell'energia nucleare. Risonanza magnetica nucleare , RMN : magnetizzazione nucleare e le transizioni a frequenza radio. Relax nucleare . Risonanza magnetica nucleare e le sue applicazioni in medicina : eccitazioni di inversione di spin del protone e la rilevazione dei segnali di de - eccitazione. l'imaging e diverse tecniche. Datazione al Carbonio. Tecniche di calibrazione per i dati Radio-carbonio. Rilevazione del decadimento radioattivo di carbonio 14 e acceleratore Spettrometria di Massa. Terapia medica adronica per il trattamento del cancro. L'effetto delle radiazioni ionizzanti su tessuti umani . Protoni e ioni pesanti contro i raggi X . Tecniche standard per ottimizzare il danno ai tessuti malati , riducendo al minimo i danni collaterali agli organi vicini. La produzione di fasci di raggi gamma: Bremsstrahlung, Bremsstrahlung coerente, annichilazione di positrone , diffusione Compton in volo.*

\* \* \* \* \*

### **OPTIMIZATION AND STATISTICAL MECHANICS (8 Cfu)**

*Prof. Roberto Benzi*

*Review of basic properties of statistical mechanics. Second order phase transition and Introduction on the simulating anealing algorithm. Genetic algorithm.*

\* \* \* \* \*

### **OTTICA QUANTISTICA (6 Cfu)**

*Dott. Fabio De Matteis*

Dal campo elettromagnetico alla luce. I coefficienti di Einstein. Transizioni radiative negli atomi, allargamenti di riga, generalità sul laser. Fluttuazioni classiche dell'intensità di una sorgente, le diverse scale dei tempi coinvolte. Collegamento tra grandezze misurabili (assorbimento, riflettività, indice di rifrazione) e caratteristiche microscopiche di un materiale. Teoria della risposta causale lineare: le relazioni di dispersione di Kramers-Kronig. La quantizzazione del campo elettromagnetico: il fotone. Interazione radiazione materia quantistica. Caratteristiche della radiazione classica: coerenza del primo e del secondo ordine. Formulazione quantistica: come si modifica il formalismo per la coerenza del primo e del secondo ordine. Differenze ed analogie. L'esperimento di Young. L'esperimento di Hanbury-Brown e Twiss.

#### **ESPERIMENTI POSSIBILI DI LABORATORIO**

La simulazione di una sorgente di radiazione caotica

L'esperimento di Young nella forma originale del 1803

La misura del fotone singolo con un fotomoltiplicatore, separazione del segnale dal rumore.

### **QUANTUM OPTICS**

*From the electromagnetic field to light. The Einstein coefficients. Radiative transitions in atoms, line broadening, general information about the laser. Classical fluctuations of the intensity of a source, the different time scales involved. Connection between measurable quantities (absorption, reflectivity,*

refractive index) and microscopic characteristics of a material. Causal linear response theory: the dispersion relations of Kramers - Kronig. The quantization of the electromagnetic field: the photon. Quantum radiation-matter interaction. Radiation characteristics of classical coherence of the first and second order. Quantum formulation: how to change the formalism to the consistency of the first and second order. Differences and similarities. The Young's experiment. The experiment of Hanbury - Brown and Twiss.

Testi consigliati

Quantum Optics - An Introduction by Mark Fox Oxford isbn 9780198566731  
The quantum theory of light - Rodney Loudon, Oxford Sci. Pub. isbn 0198501765

\* \* \* \* \*

**PARTICLE ACCELERATORS FOR SCIENCE AND INTERDISCIPLINARY APPLICATIONS (6 Cfu)**

Dott. Alessandro Cianchi

Starting with historical notes on the development of accelerators, the motion of charged particles in electric and magnetic fields is described, as they are accelerated, transported and focused. We focus both on machines for high energies physics that of those for the production of light for basic research in other fields. Investigating the reasons of the radiation emission by an accelerated charge, we study the characteristics of the radiation produced, its effect on the motion of particles, and its applications. From the description of single particles, we arrive to the particles beam definition to take into account the collective effects. Finally, we talk briefly about the great revolution going on: the plasma acceleration, which will allow to build table-top accelerators. The visit to a real particle accelerator is included. All course materials will be provided by the teacher.

**ACCELERATORI DI PARTICELLE**

Partendo da cenni storici sullo sviluppo degli acceleratori si tratta il moto di particelle cariche in campi elettrici e magnetici, come vengono accelerate, trasportate e focalizzate. Parliamo sia di macchine per fisica delle alte energie che di quelle per produzione di luce per ricerca di base in tutti gli altri settori. Dal perché una carica accelerata irraggia si arriva alle caratteristiche della radiazione prodotta, ai suoi effetti sul moto delle particelle, e alle sue applicazioni. Dalla descrizione di singola particelle si passa a quella di un fascio per tenere in conto gli effetti collettivi. Infine parliamo brevemente della grande rivoluzione in corso: l'accelerazione a plasma, che permetterà di costruire acceleratori table-top. Fa parte integrante del corso la visita ad un vero acceleratore di particelle. Tutto il materiale didattico necessario per lo studio viene fornito dal docente.

\* \* \* \* \*

**QUANTUM MECHANICS (8 Cfu)**

Dott.<sup>ssa</sup> Giulia Maria De Divitiis

Pictures of time evolution. Density matrix. The coherent states of the harmonic oscillator. The WKB approximation. The Feynman's path integral.

Rotation matrices and the Schwinger method. Wigner-Eckart theorem. EPR paradox, Bell's inequalities.

Basic concepts of Scattering theory. Partial wave analysis.

Green's operators. Lippmann-Schwinger equation.

Elements of special relativity. The Lorentz group. The Klein-Gordon theory. The Dirac equation.

### **MECCANICA QUANTISTICA**

*Rappresentazioni di Schroedinger, Heisenberg e di interazione.*

*La matrice densità. Gli stati coerenti dell'oscillatore armonico.*

*Approssimazione WKB. Integrale sui cammini. Matrici di rotazione e metodo di Schwinger. Teorema di Wigner-Eckart. Paradosso EPR, disuguaglianze di Bell.*

*Teoria della diffusione. Analisi in onde parziali.*

*Operatori di Green. Equazione di Lippmann-Schwinger.*

*Elementi di relatività speciale, il gruppo di Lorentz. Campo scalare, teoria di Klein-Gordon. Particelle di spin  $\frac{1}{2}$ , equazione di Dirac.*

#### Testi consigliati

*J. J. Sakurai, Jim J. Napolitano-Modern Quantum Mechanics-Addison Wesley*

\* \* \* \* \*

### **RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS (6 Cfu)**

*Dott. Hervé Bourdin*

Fundamentals of radiative transfer. Thermal radiation. The Einstein coefficients. Basic Theory of the radiation fields. Radiation from moving charges. Potential of Lienard Wiechart. Thomson scattering. Relativistic covariance and kinematics. Bremsstrahlung. Synchrotron radiation. Compton scattering. Sunyaev-Zeldovich effect.

### **PROCESSI RADIATIVI IN ASTROFISICA**

*Fondamenti del trasporto radiativo. Radiazione termica. I coefficienti di Einstein. Teoria di base dei campi di radiazione. Radiazione da cariche in moto. Potenziali di Lienard Wiechart. Scattering Thomson. Covarianza relativistica e cinematica. Bremsstrahlung. Radiazione di sincrotrone. Scattering Compton. Effetto Sunyaev-Zeldovich.*

#### Testi consigliati

*Radiative Processes in Astrophysics, Rybicki and Lightman, ISBN 0471827592*

\* \* \* \* \*

### **RADIOATTIVITÀ (6 Cfu)**

*Dott. Riccardo Cerulli - Prof.<sup>ssa</sup> Rita Bernabei*

Decadimento radioattivo; valle di stabilità dei nuclei; vita media; ampiezza di livello e probabilità di decadimento; tempo di dimezzamento e attività specifica; rapporto di diramazione; decadimento

radioattivo: attività del "figlio"; attività del figlio in casi speciali; equilibrio secolare. Produzione di sorgenti radioattive (radioattività indotta). Schemi di decadimento di sorgenti radioattive. Il decadimento alfa. Il raggio nucleare. Distribuzioni energetiche. Il decadimento beta. Distribuzione energetica dello spettro beta. Proprietà del neutrino. Teoria di Fermi. Forma dello spettro beta e plot di Curie. Regole di selezione del decadimento beta. Parità. La conservazione della parità nel decadimento beta e l'esperimento di Wu. L'emissione gamma. Transizioni single e transizioni in cascata. Regole di selezione. Conversione interna. Isomerismo nucleare. La fissione e la fusione. La teoria di Bohr e Wheeler per trattare il processo di fissione. Analogia meccanica della fissione. Potere calorico della fissione. La reazione a catena. La fusione nucleare. L'origine degli elementi. Il Big-Bang standard. Nucleosintesi nell'Universo primordiale e nelle stelle. Come nasce una stella. Evoluzione della stella. La fusione nelle stelle e l'origine degli elementi. Le reazioni nucleari. Bilancio energetico:  $Q$  della reazione. La sezione d'urto. Misura di sezioni d'urto. Interazione radiazione-materia: le particelle cariche. Perdita di energia per ionizzazione. Densità massica e potere frenante massico. Perdita di energia per irraggiamento (Bremsstrahlung), Range. Straggling e straggling multiplo. Interazione dei fotoni con la materia. L'Effetto fotoelettrico. Diffusione Thomson e Compton. Produzione di coppie. Coefficiente di attenuazione lineare e massico. Cammino libero medio. Strato emivalente. Coefficienti di assorbimento. Interazione dei neutroni con la materia: diffusione elastica; diffusione inelastica; cattura radiativa; reazioni con emissione di particelle cariche; reazioni con emissione di neutroni; fissione. Attenuazione dei neutroni. Energia perduta dai neutroni nell'urto elastico. La radioattività naturale e le radiazioni naturali. Radionuclidi naturali primordiali. Altre sorgenti naturali: i raggi cosmici. Cenno all'origine dei raggi cosmici; composizione dei raggi cosmici; raggi cosmici secondari. Il  $^{14}\text{C}$ . Il Radon. Radioattività interna nell'uomo. Sorgenti radioattive artificiali. Elementi sui rivelatori di particelle. Risoluzione energetica. Funzione di risposta, risposta temporale, efficienza. Tempo morto. Breve descrizione del funzionamento di: emulsion fotografiche; camera a ionizzazione; contatore proporzionale; contatore di Geiger-Muller; multi-wire Proportional Chamber; camera a drift; camera TPC; rivelatori a scintillazione organici e inorganici; il fotomoltiplicatore; contatore Cherenkov; rivelatori a semiconduttore; rivelatori a diffusione di Litio; rivelatori a microstrip di silicio. Criteri di scelta del rivelatore. Elementi di dosimetria delle radiazioni. Parti principali della cellula; cellule somatiche e cellule germinali. Effetto biologico delle radiazioni: effetto diretto ed effetto indiretto. Effetti su particolari organi. Elementi di dosimetria delle radiazioni. Attività, Attività specifica, Fluenza (o flusso) di radiazione, Intensità di fluenza (o intensità di flusso) di radiazione, Fluenza (o flusso) di energia, Intensità di fluenza (o intensità di flusso) di energia. Esposizione. L'intensità di esposizione. Dose assorbita. L'intensità di dose assorbita. Relazione tra esposizione e dose assorbita. Il kerma e l'intensità di kerma. Relazione tra esposizione, kerma e dose assorbita nel caso di fotoni in funzione della profondità nel tessuto. Gli indicatori del rischio da radiazioni ionizzanti. Equivalente di dose. Fattore di qualità della radiazione. Il LET. Fattore qualità dei neutroni in funzione dell'energia. Effetto delle radiazioni sull'uomo. Le raccomandazioni dell'ICRP. Cenno alle norme di legge. Schermatura dalle radiazioni. Schermature da particelle cariche, da particelle cariche pesanti e da elettroni. Schermature di fotoni. Il fenomeno del build-up. Schermature per neutroni. Schermature multistrato. Applicazioni della fisica nucleare: il metodo dell'attivazione neutronica e le datazioni archeologiche e geologiche. Criterio di base delle tecniche di misura del  $^{14}\text{C}$ . Altri metodi di datazione: metodo del  $^{41}\text{Ca}$ ; datazione mediante accumulazione di tracce; datazione con tracce di fissione. Tecniche di imaging.

**RADIOACTIVITY**

*Radioactive decay; valley of stability of nuclei; lifetime; amplitude level and the probability of decay, half-life and specific activity; branching ratio; radioactive decay: daughter activity; daughter activity in special cases; secular equilibrium. Production of radioactive sources (induced radioactivity). Decay schema of radioactive sources. The alpha decay. The nuclear radius. Energy distributions. The beta decay. Energy distribution of the beta spectrum. Properties of the neutrino. Fermi theory. Shape of the beta spectrum and the Curie plot. Selection rules of beta decay. Parity. The conservation of parity in beta decay and the experiment of Wu. The gamma-ray emission. Single transitions and transitions in cascade. Selection rules. Internal conversion. Nuclear isomerism. The fission and the fusion. The theory of Bohr and Wheeler to treat the fission process. Mechanical analogy of fission. Caloric power of fission. The chain reaction. The nuclear fusion. The origin of the elements. The standard Big Bang. Universe and primordial nucleosynthesis in stars. As a star is born. Evolution of the star. The fusion in the stars and the origin of the elements. The nuclear reactions. Energy balance:  $Q$  of the reaction. The cross section. Measurement of cross sections. Interaction of radiation with matter: the charged particles. Loss of energy by ionization. Mass density and mass stopping power. Energy loss by radiation (Bremsstrahlung). Range. Straggling and multiple straggling. Interaction of photons with matter. The Photoelectric Effect. Thomson scattering and Compton scattering. Pair production. Linear and mass attenuation coefficient. Mean free path. Equivalent layer. Coefficients absorption. Neutron interaction with matter: elastic scattering; inelastic scattering, radiative capture, reactions with emission of charged particles, reactions with emission of neutrons, fission. Attenuation of neutrons. Energy loss by the neutron in elastic scattering. The natural radioactivity and natural radiation. Natural primordial radionuclides. Other natural sources: cosmic rays. Elements on the origin of the cosmic rays; composition of the cosmic rays, secondary cosmic rays. The  $^{14}\text{C}$ . The Radon. Internal radioactivity in humans. Artificial radioactive sources. Elements on particle detectors. Energy resolution. Response function, response time and efficiency. Dead time. Brief description of the operation of photographic emulsions; ionization chamber; proportional counter; Geiger-Muller counter; multi-wire proportional chamber; drift chamber; TPC; organic and inorganic scintillation detectors; the photomultiplier; Cherenkov counter; semiconductor detectors; lithium drifted detectors; silicon microstrip detectors; criteria for the choice of a detector. Elements of radiation dosimetry. Main parts of the cell; somatic cells and germ cells. Biological effects of the radiation: direct effects and indirect effects. Effects on particular organs. Activity, specific activity, fluency (or flow) of radiation, intensity fluence (or flux intensity) of radiation, fluence (or flux) of energy, intensity fluence (or flux intensity) energy. Exposure. The intensity of the exposure. Absorbed dose. The intensity of the absorbed dose. Relationship between exposure and absorbed dose. The kerma and the intensity of kerma. Relationship between exposure, kerma and absorbed dose in the case of photons as a function of depth in the tissue. The indicators of risk by ionizing radiation. Equivalent dose. Quality factor of radiation. The LET. Quality factor as a function of neutron energy. Effects of radiation on humans. The recommendations of the ICRP. Mention to the dedicated law. Radiation shielding. Shielding from charged particles, heavy charged particles and electrons. Shielding from photons. The build-up. Shields from neutrons. Multi-layers shields. Applications of nuclear physics: the neutron activation method and the geological and archaeological dating. Basic on measurement techniques of  $^{14}\text{C}$ . Other dating methods: method of  $^{41}\text{Ca}$ ; dating by tracks*

accumulation; fission-track dating. Imaging techniques.

Testi consigliati

P. Corvisiero, *Appunti di Radioattività, Dipartimento di Fisica, UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA (2003)*

[Duccio Volterrani](#), [Paola Anna Erba](#), [Giuliano Mariani](#), *Fondamenti Di Medicina Nucleare, 2010, Springer Verlag, 978-88-470-1684-2 (ISBN)*

Bendiscioli Giorgio, *Fenomeni radioattivi - Dai nuclei alle stelle, Springer-Verlag Mailand, 978-88-470-5452-3 (ISBN)*

Leo, W.R. *Techniques for Nuclear and Particle physics experiments, Springer*

\* \* \* \* \*

**RELATIVITY AND COSMOLOGY 1 (6 Cfu)**

*Prof. Nicola Vittorio*

The equivalence principle. Weak gravitational field. Geodesic motion. Physical interpretation of the metric tensor. Reddening of spectral lines. Inertial forces. Tensors. Covariant derivatives. The Riemann-Christoffel tensor. Field equation in vacuum. The energy-momentum tensor. Field equations in the presence of matter. Conservation laws. The Schwarzschild solution: isotropic coordinates; planetary motion; light deflection. The Hubble expansion. The Cosmic Microwave Background radiation. The Friedmann-Robertson-Walker metric. Primordial nucleosynthesis. The distance problem in cosmology. The standard model in cosmology and inflationary scenarios..

**RELATIVITA' E COSMOLOGIA 1**

*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 Friedmann-Robertson-Walker. Nucleosintesi primordiale degli elementi leggeri. Il problema della distanza in Cosmologia. Il modello standard in cosmologia e gli scenari inflazionati.*

Testi consigliati

Narlikar, *An introduction to Relativity, Cambridge University Press*

Carroll, *Spacetime and Geometry: an introduction to General Relativity, Addison-Wesley*

\* \* \* \* \*

**RELATIVITY AND COSMOLOGY 2 (6 Cfu)**

*Prof. Nicola Vittorio*

Gravitational instabilities in the newtonian limit. Jeans wavelength. Diffusion and free-streaming phenomena. Correlation function and power spectrum of density fluctuations. Gaussian statistic and initial conditions. Evolution of the power spectrum in cosmological models. Galaxy correlation

function. Dipole anisotropy of the cosmic background and the "great attractor". Intensity and polarization anisotropies of the CMB. Sachs-Wolfe effect. Results from the COBE, WMAP, Planck satellites.

### **RELATIVITA' E COSMOLOGIA 2**

*L'equazione dell'instabilità gravitazionale nel limite newtoniano. La lunghezza d'onda di Jeans. Fenomeni di diffusione e di free-streaming. La funzione di correlazione e lo spettro di potenza delle fluttuazioni di densità primordiali. Statistica gaussiana e condizioni iniziali. Evoluzione dello spettro di potenza in modelli d'universo. La funzione di correlazione delle galassie. Anisotropia di dipolo del fondo cosmico e il "grande attrattore". Le anisotropie angolari del fondo cosmico. L'effetto Sachs-Wolfe e i risultati dei satelliti COBE, WMAP e Planck.*

#### Testi consigliati

*Coles and Lucchin, Comology, Wiley*

*Dodelson, Modern cosmology, Academic Press*

*Longair, Galaxy formation, Springer*

*Peacock, Cosmological physics, Cambridge University Press*

\* \* \* \* \*

### **SPACE INSTRUMENTS (6 Cfu)**

*Dott. Marco Casolino*

The first part of the course aims to provide the students with basic and advanced knowledge of the major problems concerning space instruments construction. Physical environment in space, mechanical and thermal design of the instruments, electronics and related radiation hardness, SEU and latch-up problems, data handling and power supply systems, instrument reliability, project management and control, documentation, quality assurance estimation. The interaction mechanisms relevant for radiation detectors will be discussed as well as the most significant space instruments for Earth observation and cosmic ray, X, gamma detection. Several instruments and probes will be examined in detail. The second part of the course discusses orbital mechanics, rocket and interplanetary probes and the history of space exploration.

### **STRUMENTI SPAZIALI**

*La prima parte del corso intende fornire agli studenti le conoscenze di base e avanzate dei problemi principali relativi alla costruzione di strumenti spaziali, a partire dall'interazione radiazione materia sino alla progettazione degli strumenti tenendo conto dei vincoli di massa, peso e potenza imposti dall'ambiente spaziale. Verranno affrontate le problematiche di resistenza elettronica alle radiazioni. Sistemi di gestione dati e di alimentazione, affidabilità dello strumento, gestione e controllo dei progetti. Sarà inoltre trattato l'ambiente spaziale sia dal punto di vista termico che radioattivo. Verranno trattati gli strumenti spaziali più significativi per l'osservazione della Terra e raggi cosmici, X, gamma. La seconda parte del corso tratta di meccanica orbitale, dei principi di funzionamento di razzi e sonde planetarie e della storia dell'esplorazione spaziale.*



Testi consigliati

Leo, *Techniques for nuclear and particle physics experiments*, Springer

Knoll, *Radiation detection and measurement*, John Wiley & Son

Larson, Wertz, *Space Missions analysis and design*, Kluwer

*Introduction to Space Physics* Margaret G. Kivelson (Editor), Cambridge Univ press

Longair *High Energy Astrophysics 1 & 2*

\* \* \* \* \*

**STATISTICAL TECHNIQUES FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY (6 Cfu)**

Prof. Rinaldo Santonico

The course aims at providing an overview of modern techniques in mathematical statistics which are most relevant in Science and Technology. The basic topics covered may vary from year to year, but a tentative list includes:

Introduction: probability inequalities, modes of convergence, consistency, central limit theorems. Basic asymptotic theory: asymptotic Gaussianity for point estimation, maximum likelihood, hypothesis testing, linear models. Estimation for time series and stationary processes: spectral density, Whittle likelihood.

**TECNICHE STATISTICHE PER LA SCIENZA E LA TECNOLOGIA**

*Il corso ha l'obiettivo di fornire uno sguardo d'insieme sulle tecniche moderne di statistica matematica che sono più rilevanti per la Scienza e per la Tecnologia. Gli argomenti di base da coprire riguardano: Richiami di probabilità: disuguaglianze, modi di convergenza, consistenza, teorema del limite centrale. Introduzione alla teoria asintotica: Gaussianità asintotica degli stimatori, massima verosimiglianza, test delle ipotesi, modelli lineari. Stime per serie temporali e processi stazionari: analisi spettrale, modelli ARMA, verosimiglianza nel dominio delle frequenze.*

Testi consigliati

Wasserman *All of Statistics*, Brockwell and Davis *Time Series Models*

\* \* \* \* \*

**STELLAR ASTROPHYSICS (6 Cfu)**

Prof. Giuseppe Bono

1. *Structure of the Galactic spheroid*

1.1 *Galactic halo*

1.2 *Galactic bulge*

1.3 *Galactic disc*

1.4 *Stellar systems*

1.4.1 *Globular Clusters*

1.4.2 *Open Clusters and Associations*

1.5 *Galactic distance scale*

1.6 *Metallicity distribution*

- 1.7 Kinematic properties
- 1.8 Particles and Big Bang Nucleosynthesis
  - 1.9 Nuclear evolution and  $\alpha$ -elements
- 2. Equations of Stellar Structure
  - 2.1 Hydrostatic equilibrium
  - 2.2 Schwarzschild criterion. Overshooting.
  - 2.3 Radiative and convective energy transport
  - 2.4 Stellar atmosphere
- 3. Physical conditions of the Stellar Matter
  - 3.1 Equation of state
  - 3.2 Opacity and matter-radiation interaction
  - 3.3 Energy generation
  - 3.4 Nuclear reactions
- 4. Star formation
  - 4.1 Star formation and evolution along the Hayashi track
    - 4.1.1 Fully convective stars
    - 4.1.2 Evolution until hydrogen burning ignition
- 5. The Hydrogen Burning Phase
  - 5.1 The p-p chain
  - 5.2 The CNO cycle
  - 5.3 Secondary elements
  - 5.4 The H-burning phase in Low Mass (LM) stars: the solar case
  - 5.5 The H-burning phase in upper Main Sequence (MS) stars
  - 5.6 The MS dependence on chemical composition and on convection efficiency
  - 5.7 The Mass-Luminosity relation
  - 5.8 The Schönberg-Chandrasekhar limit
  - 5.9 Post MS evolution
    - 5.9.1 Low, intermediate and massive stars
    - 5.9.2 The Helium flash
  - 5.10 The Red Giant Branch (RGB) dependence on physical and chemical parameters
    - 5.10.1 The RGB bump
    - 5.10.2 The tip of the RGB
  - 5.11 Evolutionary properties of very metal-poor stars
- 6. The Helium burning phase
  - 6.1 The nuclear reactions
  - 6.2 The Zero Age Horizontal Branch (ZAHB)
  - 6.3 The He core burning phase in low-mass stars
  - 6.4 The He burning phase in more massive stars
  - 6.5 Pulsation properties inside the Cepheid instability strip
- 7. The Advanced Evolutionary Phases
  - 7.1 The Asymptotic Giant Branch (AGB)
    - 7.1.1 The thermally pulsing phase
    - 7.1.2 The s-elements nucleosynthesis

- 7.2 Chandrasekhar limit
- 7.3 Carbon-Oxygen and Helium core white dwarfs
- 7.4 Advanced evolutionary stages
- 7.5 Supernovae explosions
- 8. Stellar observables of cosmological interest
  - 8.1 Primordial Helium abundance
  - 8.2 Absolute and relative ages of Globular Clusters
  - 8.3 Primary and secondary distance indicators
  - 8.4 The Hubble constant
- 9. Nucleosynthesis
  - 9.1 Yields from AGB stars
  - 9.2 Yields from Supernovae type Ia and type II

### **ASTROFISICA STELLARE**

1. Struttura dello Sferoide Galattico
  - 1.1 L'alone galattico
  - 1.2 Il bulge
  - 1.3 Il disco
  - 1.4 Sistemi stellari
    - 1.4.1 Ammassi globulari
    - 1.4.2 Ammassi aperti e associazioni
  - 1.5 Scala distanza galattica
  - 1.6 Distribuzione in metallicità
  - 1.7 Proprietà cinematiche
  - 1.8 Nucleosintesi primordiale
  - 1.9 Evoluzione nucleare e elementi  $\alpha$
2. Equazioni delle Strutture Stellari
  - 2.1 Equilibrio idrostatico
  - 2.2 Il criterio di Schwarzschild. Overshooting.
  - 2.3 Trasporto di energia radiativo e convettivo
  - 2.4 Atmosfere stellari
3. Condizioni fisiche della materia stellare
  - 3.1 Equazione di stato
  - 3.2 Opacità e interazione materia-radiazione
  - 3.3 Generazione di energia
  - 3.4 Reazioni nucleari
4. Formazione stellare
  - 4.1 Formazione stellare ed evoluzione lungo la traccia di Hayashi
    - 4.1.1 Stelle completamente convettive
    - 4.1.2 L'approccio alla fase di combustione centrale di H
5. La fase di bruciamento di idrogeno
  - 5.1 La catena p-p
  - 5.2 Il ciclo CNO

- 5.3 Elementi secondari
- 5.4 La fase di combustione centrale di H in stelle di piccola massa (LMS): il caso del Sole
- 5.5 La fase di combustione centrale di H in stelle della Sequenza principale superiore (UMS)
- 5.6 La dipendenza della MS dalla composizione chimica e dall'efficienza della convezione
- 5.7 La relazione Massa-Luminosità
- 5.8 Il limite di Schönberg-Chandrasekhar
- 5.9 L'evoluzione di Post-MS
  - 5.9.1 Stelle di massa piccola e intermedia e stelle massicce
  - 5.9.2 Il flash dell'elio
- 5.10 La dipendenza del Ramo delle Giganti Rosse (RGB) dai parametri chimici e fisici
  - 5.10.1 Il bump dell'RGB
  - 5.10.2 Il tip dell'RGB
- 5.11 Le proprietà evolutive delle stelle molto povere di metalli
- 6. La fase di bruciamento dell'elio
  - 6.1 Le reazioni nucleari
  - 6.2 La Zero Age Horizontal Branch (ZAHB)
  - 6.3 La fase di combustione centrale di He in stelle di piccola massa
  - 6.4 La fase di combustione centrale di elio in stelle più massicce
  - 6.5 Le proprietà pulsazionali e la striscia di instabilità delle Cefeidi
- 7. Le fasi evolutive avanzate
  - 7.1 Il Ramo Asintotico delle Giganti (AGB)
    - 7.1.1 La fase di Pulsi Termici
    - 7.1.2 La nucleosintesi degli elementi s
  - 7.2 Il limite di Chandrasekhar
  - 7.3 Nane bianche di Carbonio-Ossigeno and Elio
  - 7.4 Fasi evolutive avanzate in stelle di grande massa
  - 7.5 Supernovae
- 8. Osservabili stellari di interesse cosmologico
  - 8.1 L'abbondanza primordiale di He
  - 8.2 Età assolute e relative degli ammassi globulari
  - 8.3 Indicatori di distanza primari e secondari
  - 8.4 La costante di Hubble
- 9. Nucleosintesi
  - 9.1 Yields da stelle di AGB
  - 9.2 Yields dalle Supernovae di tipo Ia and II

Testi consigliati

*Evolution of Stars and Stellar Populations by Salaris & Cassisi*

*Stellar Interior, by Hansen, Kawaler & Trimble*

*Physics, Formation and Evolution of Rotating Stars by Maeder*

*Stellar structure and evolution by Kippenhahn, Weigert, Weiss*

\* \* \* \* \*

**STELLAR POPULATIONS (6 Cfu)**

*Prof. Giuseppe Bono*

1. THE DISCOVERY OF STELLAR POPULATIONS
  - 1.1 Baade and the discovery of Galactic stellar populations
  - 1.2 Kinematic and spectroscopic evidence
  - 1.3 Oort's Constants, and the Rotation of the Galaxy
2. FORMATION AND EVOLUTION OF THE GALAXY
  - 2.1 Galaxy formation: semi-analytic models
  - 2.2 Galaxy formation: numerical simulations
  - 2.3 Dark matter and baryonic components
3. THE COSMOLOGICAL ABUNDANCES OF THE ELEMENTS
  - 3.1 The Big Bang nucleosynthesis
  - 3.2 Primordial helium content
  - 3.3 Primordial lithium content
4. STAR FORMATION
  - 4.1 Theory and observations
  - 4.2 Population III stars
  - 4.3 Initial mass function
  - 4.4 Mass luminosity relation
5. GALACTIC COMPONENTS
  - 5.1 The halo
  - 5.2 The thin and the thick disk
  - 5.3 The bulge
  - 5.4 The center
6. STELLAR SYSTEMS
  - 6.1 Open clusters and associations
  - 6.2 Globular clusters
  - 6.3 Abundance patterns and anticorrelations
7. STELLAR POPULATIONS IN LOCAL GROUP GALAXIES
  - 7.1 Andromeda group
  - 7.2 Dwarf irregulars
  - 7.3 Dwarf spheroidals
8. STELLAR POPULATIONS IN LOCAL VOLUME GALAXIES
  - 8.1 Virgo cluster
  - 8.2 Ultra compact dwarfs
  - 8.3 Dwarf ellipticals
  - 8.4 Ellipticals
  - 8.5 Galaxy bulges
9. UNRESOLVED STELLAR POPULATIONS
  - 9.1 Population synthesis
  - 9.2 Integrated spectra and colours
10. GALACTIC CHEMICAL EVOLUTION

- 10.1 Star Formation rate and SN rate
- 10.2 Stellar abundance gradients
- 10.3 Gas abundance gradients
- 10.4 alpha-element abundances
- 10.5 s and r-process elements
- 10.6 neutron capture elements

## **POPOLAZIONI STELLARI**

### **1. LA SCOPERTA DELLE POPOLAZIONI STELLARI**

- 1.1 Baade e la scoperta delle popolazioni stellari Galattiche
- 1.2 Evidenze cinematiche e spettroscopiche
- 1.3 Le Costanti di Oort e la rotazione della Galassia

### **2. FORMAZIONE ED EVOLUZIONE DELLA GALASSIA**

- 2.1 Formazione della Galassia: modelli semi-analitici
- 2.2 Formazione della Galassia: simulazioni numeriche
- 2.3 Materia oscura e componenti barioniche

### **3. LE ABBONDANZE COSMOLOGICHE DEGLI ELEMENTI**

- 3.1 La nucleosintesi del Big Bang
- 3.2 Contenuto primordiale di Elio
- 3.3 Contenuto primordiale di Litio

### **4. FORMAZIONE STELLARE**

- 4.1 Teoria ed osservazioni
- 4.2 Stelle di popolazione III
- 4.3 Funzione iniziale di massa
- 4.4 Relazione massa-luminosità

### **5. GALACTIC COMPONENTS**

- 5.1 COMPONENTI GALATTICHE
- 5.2 L'alone
- 5.3 Disco sottile e disco spesso
- 5.4 Il nucleo
- 5.5 Il centro

### **6. SISTEMI STELLARI**

- 6.1 Ammassi aperti ed associazioni
- 6.2 Ammassi globulari
- 6.3 Anticorrelazioni nella composizione chimica

### **7. POPOLAZIONI STELLARI IN GALASSIE DEL GRUPPO LOCALE**

- 7.1 Il gruppo di Andromeda
- 7.2 Nane irregolari
- 7.3 Nane sferoidali

### **8. POPOLAZIONI STELLARI NELLE GALASSIE DEL VOLUME LOCALE**

- 8.1 Ammasso della Vergine
- 8.2 Nane ultracompatte
- 8.3 Nane ellittiche

8.4 Ellittiche

8.5 Nuclei galattici

9. POPOLAZIONI STELLARI NON RISOLTE

9.1 Sintesi di popolazione

9.2 Spettri integrati e colori

10. EVOLUZIONE CHIMICA GALATTICA

10.1 Tasso di formazione stellare e tasso di Supernovae

10.2 Gradienti di abbondanza stellare

10.3 Gradienti di abbondanza di gas

10.4 Abbondanze di elementi alpha

10.5 Elementi da processi s ed r

10.6 Elementi da processi di cattura di neutroni

Testi consigliati

*Binney & Merrifield, Galactic Astronomy, Princeton University Press*

*Binney & Tremaine, Galactic Dynamics, Princeton University Press*

*Pagel, Nucleosynthesis and Chemical Evolution of Galaxies, Cambridge*

*Spitzer, Dynamical Evolution of Globular clusters, Princeton*

*Bertin, Dynamics of Galaxies, Cambridge*

\* \* \* \* \*

**STRUTTURA DELLA MATERIA 2 (6 Cfu)**

*Dott.ssa Maurizia Palumbo*

1. La struttura Cristallina

1.1. Reticolo Diretto (RD)

1.1.1. Sistemi cristallini

1.1.2. Reticoli di Bravais

1.1.2.1. Sistemi cristallini

1.1.2.2. Cella primitiva

1.1.2.3. Cella unitaria

1.1.3. Concetto di base

1.1.3.1. Esempi: Grafene, Sistema cubico

1.1.4. Esempi di cristalli reali

1.2. Reticolo Reciproco (RR)

1.2.1. Vettori primitivi

1.2.1.1. Esempi dal sistema cubico

1.2.2. Teorema-Piani(RD)-Direzioni(RR)

1.2.3. Indici di Miller

2. Diffrazione

2.1.1. Trasformata di Fourier della densità di carica

2.1.2. Geometrie sperimentali per misure di diffrazione

2.1.2.1. Sfera di Ewald e relativa costruzione

2.1.2.1.1. Metodo di Laue

2.1.2.1.2. Metodo del Cristallo rotante

2.1.2.1.3. Metodo delle polveri

2.1.3. Fattore di forma atomico e fattore di struttura

2.1.3.1. Approssimazione atomica

2.1.3.2. Legame con il reticolo reciproco e riflessioni proibite

Esempio: diffrazione da un fcc, bcc, diffrazione da un diamante

3. La struttura elettronica

3.1. Approssimazione ad elettroni indipendenti

3.1.1. Metodo Hartree-Fock

3.1.1.1. Trasformazione alla forma canonica.

3.1.1.2. Teorema di Koopmans

3.1.1.3. Gas omogeneo di elettroni

3.2. Introduzione sulle regole di somma dovute alla invarianza per traslazione

3.3. Il teorema di Bloch

3.4. Le condizioni al contorno di Born VonKarmann

3.5. La densità degli stati

3.5.1. Punti singolari di Van Hove in 1,2,3 dimensioni.

3.6. Il concetto di banda di energia

3.6.1. Modello elettrone quasi libero

3.6.1.1. Calcolo delle bande dell'elettrone libero in un cristallo cubico

3.6.2. Legame forte semiempirico

3.6.2.1. Approssimazione a due centri

3.6.2.1.1. Integrali di Koster e Slater per gli stati s e p.

3.6.2.1.2. Esempi: catene lineari, fcc stati s e stati p. Grafene, Nanotubi

3.7. La velocità e la massa efficace

3.8. Concetto di lacuna

4. La struttura fononica

4.1. Catena di atomi 1D

4.2. Catena con due atomi per cella

4.3. Generalizzazione al caso 3D

5. Semiconduttori

5.1. Tipiche strutture a bande di semiconduttori: Si, Ge, GaAs.

5.2. Concentrazione delle cariche all'equilibrio

5.2.1. Massa efficace e densità degli stati nel Si e nel Ge

5.2.2. Legge dell'azione di massa

5.3. Semiconduttori intrinseci

5.3.1. Posizione del potenziale chimico

5.4. Semiconduttori estrinseci

5.4.1. Hamiltoniana; approssimazione della massa efficace

5.4.2. Popolazione dei livelli d'impurezza

5.4.3. Posizione del potenziale chimico in funzione della temperatura

5.5 Cenni alla Giunzione P-N

6. Proprietà Ottiche



- 6.1 Equazioni di Maxwell in un dielettrico
- 6.2 Interazione Radiazione-Dielettrico
- 6.3 Assorbimento e Dispersione
  - 6.3.1 Oscillatore di Lorentz
  - 6.3.2 Modello di Drude
  - 6.3.3 Funzioni dielettriche
  - 6.3.4 Frequenza di Plasma

## **STRUCTURE OF MATTER 2**

### 1. Crystalline structures

- 6.1. Direct Lattice (DR)
  - 6.1.1. Crystalline Systems
  - 6.1.2. Bravais lattices
    - 6.1.2.1. Primitive cell
    - 6.1.2.2. Unitary cell
  - 6.1.3. Basis
    - 6.1.3.1. Examples

- 6.2. Reciprocal Lattice (RL)
  - 6.2.1. Primitive vectors
    - 6.2.1.1. Cubic System
  - 6.2.2. Miller indexes

### 7. Diffraction

- 7.1.1. Fourier transform of the carrier density
- 7.1.2. Experimental set up for diffraction measurements
  - 7.1.2.1. Sphere of Ewald and its construction
    - 7.1.2.1.1. Laue methods
    - 7.1.2.1.2. Rotating crystal methods
    - 7.1.2.1.3. Powder methods
- 7.1.3. Atomic Form Factor and Structure Factor
  - 7.1.3.1. Atomic Approximation
  - 7.1.3.2. Connection with the reciprocal lattice forbidden reflections
    - 7.1.3.2.1. Example:: fcc, bcc diffraction, diamond diffraction

### 8. The electronic structure

- 8.1. Independent electron approximation
  - 8.1.1. Hartree-Fock Approach
    - 8.1.1.1. Cononical Form.
    - 8.1.1.2. Koopmans' theorem
    - 8.1.1.3. Homogeneous electron gas
- 8.2. Sum rule due to translation invariance
- 8.3. The Bloch theorem
- 8.4. Born Von Karman Boundary condition
- 8.5. The densitu of states
  - 8.5.1. Van Hoove singularities in 1D, 2D, and 3D.

8.6. Energy band concept

8.6.1. Nearly free electron

8.6.1.1. Nearly free electron in a cubic crystal

8.6.2. Semi-empirical tight binding

8.6.2.1. Two centre approximation

8.6.2.1.1. Koster and Slater integrals for  $s$  and  $p$  states.

8.6.2.1.2. Example: linear chain, fcc  $s$  states and  $p$  states, graphene only  $p_z$ , nanotubes.

8.7. Electron velocity and effective mass

8.8. Holes

9. Phonons

9.1. 1D chain

9.2. 1D chain two atoms per cell

9.3. 3D generalization

10. Semiconductors

10.1. Si, Ge, GaAs: band structures

10.2. Equilibrium carrier concentration

10.2.1. Effective mass and density of states in Si and Ge

10.2.2. Mass action law

10.3. Intrinsic semiconductor

10.3.1. Chemical potential behaviour

10.4. Extrinsic semiconductors

10.4.1. Hamiltonian; effective mass approximation

10.4.2. Population of impurity levels

10.5. Chemical potential behaviour as a function of temperature

10.6. Currents in semiconductors and p-n junctions

11. Optical properties

6.4 Maxwell equation in a dielectric

6.5 Interaction between radiation and dielectric

6.6 Absorption and dispersion

6.6.1 Lorentz model

6.6.2 Drude model

6.6.3 Dielectric function

6.6.4 Plasma Frequency

Testi consigliati

[Solid State Physics](#) di Ashcroft e Mermin; [Solid State Physics](#) di Giuseppe Grosso e Giuseppe Parravicini ; Introduction to Solid State Physics by Kittel; Wooten "Proprieta' ottiche dei solidi"

\* \* \* \* \*

**SUN AND SPACE CLIMATE (6 Cfu)**

Prof. Francesco Berrilli

The internal structure of the sun, nuclear reactions and neutrino problem. Convection in stellar envelopes and in the sun (with free activities and research exoplanets). Quiet Sun and active sun. Helioseismology, solar global dynamo and tachocline. The dynamic sun and its magnetic activity. The solar wind and solar energetic particles. Solar variability, climate and space weather. Solar irradiance, its spectral and temporal variability, and Earth's climate. Telescopes for Solar Physics.

**SOLE E CLIMATOLOGIA SPAZIALE**

*La struttura interna del sole, reazioni nucleari ed il problema dei neutrini. Convezione negli involucri stellari e nel sole (connessione con attività e ricerca esopianeti). Sole quieto e sole attivo. Eliosismologia, tachocline e dinamo solare. Il sole dinamico e l'attività magnetica del sole. Il vento solare e le particelle solari. Variabilità solare, climatologia e meteorologia spaziale (space weather). L'irradianza solare, la sua variabilità spettrale e temporale ed il clima terrestre. Telescopi per la Fisica Solare.*

Testi consigliati

*Fisica Solare (UNITEXT/ Collana di Fisica e Astronomia) - E. Landi Degl'Innocenti*  
*The Sun: an introduction - M. Stix* *Fundamentals of Solar*  
*Astronomy - A. Bhatnagar and W. Livingston* *The Sun and Space Weather - A.*  
*Hanslmeier*

\* \* \* \* \*

**SUPERSIMMETRIA (6 Cfu)**

*Dott. Francesco Fucito*  
Supersimmetria N=1 globale. Multipletti e lagrangiane. Rottura spontanea della super simmetria. Supersimmetrie globali estese e generalizzazioni a D>4. Rinormalizzazione e termini soffici. Il problema della gerarchia delle scale. Modello standard minimale supersimmetrico.

**SUPERSYMMETRY**

Global N=1 supersymmetry. Multiplets and Lagrangians. Spontaneous supersymmetry breaking. Extended global supersymmetres and generalizations to D>4. Soft terms renormalization. The hierarchy problem. Minimal Supersymmetric Standard Model (MSSM).

\* \* \* \* \*

**TELERILEVAMENTO (8 Cfu)**

*Dott. Gianluigi Liberti*  
Concetto di Missione Satellitare: fasi della missione (dalla definizione delle richieste degli utenti alla validazione del prodotto geofisico), *Space* e *Ground Segment*, Terminologia dei prodotti. *Space Segment*: orbite d'interesse, geometrie di scansione e struttura degli strumenti: esempi di strumenti attualmente in uso nel telerilevamento di atmosfera e oceano. Trasferimento radiativo nell'atmosfera: concetti di base, sorgenti di radiazione e processi radiativi rilevanti per le applicazioni d'interesse.

Equazione del trasferimento radiativo: caso generale e suo sviluppo in casi limite d'interesse. Modelli numerici di trasferimento radiativo e database di variabili ottiche d'interesse. *Ground Segment* e catene di processamento dei dati: preprocessamento dei dati (controlli di qualità, selezione dei dati utili), esempi di metodi d'inversione (per es. Look Up Tables, Metodi statistici, etc.) applicati a un insieme di variabili geofisiche d'interesse per la descrizione: dell'atmosfera (nubi e precipitazioni, struttura e composizione, variabili dinamiche, bilancio radiativo alla sommità), della superficie terrestre (proprietà radiative, classificazione della copertura, proprietà della vegetazione, umidità della superficie) e degli oceani (temperatura, salinità, topografia, onde e composizione).

**REMOTE SENSING**

*Satellite mission concepts: Phases of the mission (from the Users Requirements to the validation of the geophysical products), Space and Ground segment, Products. Space Segment: Orbits of interest, scanning geometries and instrument structure: examples from instruments currently used for remote sensing of atmosphere and ocean. Radiative Transfer in the Atmosphere: basic concepts, radiation sources and radiative processes relevant for the applications of interest. Radiative transfer equation: general case and examples of simplified solutions for specific applications. Numerical radiative transfer models and database of optical properties of interest.*

*Ground Segment and data processing chains: data preprocessing (Q/C's, data screenings), examples of inversion methods (e.g. Look Up Tables, Statistical Inversion methods, etc.) applied to a set of geophysical variables of interest for the description of: the atmosphere (clouds and precipitation, atmospheric structure and composition, dynamical variables, top of atmosphere radiative budget), of the land surface (radiative properties, land use, vegetation properties, surface humidity) and of the ocean (physical properties (SST, SSH and SSS), waves, composition).*

\* \* \* \* \*

**TEORIA DEI CAMPI E PARTICELLE 1 e 2 (6+6 Cfu)**

*Prof. Nazario Tantalò*

Campo elettro-magnetico. Teoria classica dei campi. Invarianze e leggi di conservazione. Gruppo di Poincarè. Simmetrie interne. Invarianza di gauge. Equazioni relativistiche. Quantizzazione dei campi scalari e spinoriali. Campi in interazione. Teoria perturbativa. Diagrammi di Feynman. Matrice S. Processi elementari in QED. Correzioni radiative. Rinormalizzazione e regolarizzazione.

**THEORY OF PARTICLES AND FIELDS 1 AND 2**

*Electro-magnetic field. Classical Field Theory. Symmetries and conservation laws. Poincarè group. Internal symmetries. Gauge invariance. Relativistic equations. Quantization of scalar and spinor fields. Interacting fields. Perturbative expansion. Feynman diagrams. S-matrix. Elementary processes in QED. Radiative corrections. Renormalization and regularization.*

Testi consigliati

*Mandl, Shaw "Quantum Field Theory", Ramond "Field Theory: a modern primer"*

\* \* \* \* \*

## **TEORIA DEI SISTEMI A MOLTI CORPI (8 Cfu)**

*Prof. Giancarlo Rossi*

### 1) ELEMENTI DI MECCANICA STATISTICA

La nozione di ensemble. L'ensemble micro-canonical. Il gas ideale classico. Il teorema di equipartizione dell'energia. L'ensemble canonico. Equivalenza tra ensembles. L'ensemble gran-canonical. La Meccanica Statistica Quantistica. Il metodo della Massima Entropia.

### 2) LA DINAMICA MOLECOLARE CLASSICA

Discretizzazione delle equazioni di Hamilton-Jacobi. Operatore di evoluzione temporale di Liouville. Leap-frog. La dinamica molecolare come trasformazione canonica. Multiple-Time-Step.

### 3) L'INTEGRALE FUNZIONALE

L'integrale funzionale in Meccanica Quantistica. Il nucleo di evoluzione per la particella libera. Il nucleo di evoluzione per l'oscillatore armonico. Teoria delle perturbazioni. Rotazione di Wick e corrispondenza fra Meccanica Quantistica e Meccanica Statistica. Funzioni di Green e funzionali generatori. Approssimazione semi-classica e azione effettiva.

### 4) METODI STOCASTICI PER IL CALCOLO DELLA FUNZIONE DI PARTIZIONE

Il metodo Monte Carlo. Catene di Markov, bilancio dettagliato, algoritmo di Metropolis. Monte Carlo ibrido. Moto Browniano, equazione di Langevin, equazione di Fokker-Planck. Soluzione asintotica dell'equazione di Fokker-Planck.

### 5) QUANTUM MONTE CARLO

### 6) SISTEMI FERMIONICI IN FISICA DELLA MATERIA

L'approssimazione di Born-Oppenheimer. Il modello di Thomas-Fermi. L'approssimazione di Hartree-Fock. La teoria del funzionale densità. Il metodo di Car-Parrinello.

## **THEORY OF MANY-BODY SYSTEMS**

### 1) BASIC ELEMENTS OF STATISTICAL MECHANICS

*The notion of ensemble. The micro-canonical ensemble. The ideal gas. The equipartition theorem. The canonical ensemble. Equivalence among ensembles. The grand-canonical ensemble. Quantum Statistical Mechanical. The Maximal Entropy method.*

### 2) CLASSICAL MOLECULAR DYNAMICS

*The discretization of Hamilton-Jacobi equations. Liouville temporal evolution operator. Leap-frog. Molecular dynamics as a canonical transformation. Multiple-Time-Step.*

### 3) THE FUNCTIONAL INTEGRAL

*The functional integral in Quantum Mechanics. The evolution kernel of the free particle. The evolution kernel of the harmonic oscillator. Perturbation theory. Wick rotation and the correspondence between Quantum Mechanics and Statistical Mechanics. Green's functions and generating functional. Semi-classic approximation and effective action.*

### 4) STOCHASTIC METHODS FOR THE PARTITION FUNCTION CALCULATION

*Importance sampling and the Monte Carlo method. Markov chains, detailed balance, the Metropolis algorithm. Hybrid Monte Carlo. Brownian motion, The Langevin and Fokker-Planck equations. The asymptotic solution of the Fokker-Planck equation.*

### 5) QUANTUM MONTE CARLO

### 6) FERMIONIC SYSTEMS IN CONDENSED MATTER

*The Born-Oppenheimer approximation. The Thomas-Fermi model. The Hartree-Fock approximation. Density functional theory. Car-Parrinello molecular dynamics.*

Testi consigliati

*Dispense del corso - K. Huang "Statistical Mechanics" Ed. John Wiley & Sons - R.P. Feynman e A.R. Hibbs "Quantum Mechanics and Path Integrals", Ed. McGraw-Hill - G. Parisi "Statistical Field Theory", Frontiers in Physics, Addison Wesley Publishing Company - H.J. Rothe "Lattice Gauge Theories: An introduction" World Scientific, Lecture Notes in Physics, Vol. 43.*

\* \* \* \* \*

**TEORIA DEI SOLIDI (6 Cfu)**

*Prof. Gianluca Stefanucci*

Teoria dei Gruppi con applicazioni alla materia condensata (orbitali, vibrazioni, spin, effetto Jahn-Teller -reticoli simmorfici e non simmorfici- cristalli magnetici-stati elettronici nei solidi). Funzioni di Green - Equazione di Lippmann-Schwinger - Modello di Fano- Anderson - Effetto Kondo - Teoria di Kubo della risposta lineare - Rappresentazione di Lehmann- Risonanze a 2 buche e teoria di Cini-Sawatzky degli spettri Auger-Diagrammi di Feynman - Proprietà di Herglotz.- Equazione di Bethe-Salpeter-Applicazioni del metodo diagrammatico: Casi di alta e bassa densità- spettroscopie. -Nozioni su: Equazioni di Hedin -Approssimazioni conservative - il Funzionale Densità. - Ward identity-Alcuni metodi ricorsivi, di rinormalizzazione e numerici con esempi. Nozioni introduttive su: Magnetismo - Modello di Hubbard - e catene di Heisenberg - Fase di Berry e polarizzazione dei solidi. - Effetto Hall quantistico ed altri fenomeni topologici- Nanotubi e fullerene - Trasporto quantistico e pompaggio.

**SOLID STATE THEORY**

*Group theory with condensed-matter applications (orbitals, vibrations, spin, Jahn-Teller -effect, symmorphic and not symmorphic lattices -magnetic crystals- electron states in solids). Green's functions - Lippmann-Schwinger equation - Fano and Anderson models - Kondo singularity - Kubo linear response formalism- Lehmann representation - Two-hole Risonances and Cini-Sawatzky theory of Auger spectra - Feynman diagrams - Herglotz property- Bethe-Salpeter equation -Applications of the diagram method : high and low density cases. - spectroscopies. - Hedin equations -conserving approximations - Density Functional theory. - Ward identity-Recursion, renormalization and numerical methods with examples. Basic ideas about Magnetis,- Hubbard Model -Heisenberg chains - Berry phase and the theory of polarization of solids.- Quantum Hall effects and other topology-related phenomena - Nanotubes-Fullerene - Quantum transport and pumping.*

Testi consigliati

*Michele Cini - Topics and Methods in Condensed Matter Theory, Springer Verlag+appunti*

\* \* \* \* \*

**TEORIA QUANTISTICA DELLA MATERIA (6 Cfu)**

Prof.<sup>ssa</sup> Olivia Pulci

Sistemi a molti elettroni. Seconda quantizzazione. Funzioni di Green a  $T=0$ . 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. Metodi di calcolo numerico.

**QUANTUM THEORY OF CONDENSED MATTER**

*Many-Body theory. Second quantization. Green's function. Feynman diagrams, Dyson equation. Self Energy. Homogeneous electron gas. Correlation energy. Linear response theory. Density Functional Theory. Electronic band structures. Optical properties. Excitons. Numerical methods*

Testi consigliati

*Fetter Walecka "Quantum Theory of Many-Particle Systems", Grosso Pastori Pallavicini "Solid State Physics"*

\* \* \* \* \*

**TEORIE RELATIVISTICHE E SUPERGRAVITA' (6 Cfu)**

Prof. Gianfranco Pradisi

Gruppi di Lorentz e di Poincaré e rappresentazioni. Simmetrie e teorema di Noether. Gruppi di Lie. Teorie di Yang-Mills. Rottura spontanea della simmetria. Monopoli e istantoni. Supersimmetria. Relatività generale. Buchi neri. Supergravità. Soluzioni di buchi neri e p-brane in supergravità.

**RELATIVISTIC THEORIES AND SUPERGRAVITY**

*Lorentz and Poincare groups and representations. Symmetries and Noether theorem. Lie groups. Yang-Mills theory. Spontaneous symmetry breaking. Monopoles and instantons. Supersymmetry. General relativity. Black holes. Supergravity. Black hole and p-brane solutions in supergravity.*

Testi consigliati

*P. Ramond, 'Field theory: A modern primer'. S. Rajaraman, 'Solitons and Instantons'. S. Weinberg, 'Gravitation and Cosmology'.*