



## GUIDA DIDATTICA del CORSO di LAUREA MAGISTRALE in FISICA

### L'orizzonte culturale

La FISICA è la branca della 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 la progettazione e utilizzazione di strumenti avanzati 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. Astrophysics and Space Science
2. Fisica
3. Fisica dell'Atmosfera e del Clima e Meteorologia
4. Physics of Fundamental Interactions and Experimental Techniques
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.

1. Il curriculum "Astrophysics and Space Science" è in **inglese** ed ha un solo piano di studi. Gli studenti possono anche seguire corsi in lingua italiana. Esiste un curriculum con numero contingentato di accessi "Master program in Astrophysics and Space Science-MASS" vedere il link: <https://www.master-mass.eu/>
2. Il curriculum "Fisica" è in **italiano** ed è articolato in quattro piani di studi:
  1. Elettronica e Cibernetica
  2. Fisica dei Biosistemi
  3. Struttura della Materia
  4. Fisica Teorica.
3. Il curriculum "Fisica dell'Atmosfera e del Clima e Meteorologia" è in **italiano** ed ha un solo piano di studi.
4. Il curriculum "Physics of Fundamental Interactions and Experimental Techniques" è in **inglese** ed ha un solo piano di studi.

5. 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).

Gli studenti possono 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 e fondamenti di calcolo numerico, 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: **03 ottobre 2022**

### 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<sub>2</sub> 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:

1. Avere una approfondita comprensione delle più importanti teorie della fisica moderna e delle relative problematiche sperimentali.
2. Essere in grado di progettare procedure sperimentali e/o teoriche per tematiche di ricerca in fisica.
3. 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:

1. Essere in grado di identificare gli elementi essenziali di un problema fisico anche complesso e saperlo modellizzare, effettuando le approssimazioni necessarie.
2. 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:

1. Essere in grado di effettuare autonomamente esperimenti, calcoli oppure simulazioni numeriche.
2. Acquisire la capacità di eseguire ricerche bibliografiche e di selezionare i materiali interessanti, in particolare sul WEB.
3. Essere in grado di assumersi le responsabilità sia della programmazione di progetti che della gestione di strutture.
4. 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:

1. Essere in grado di lavorare in un gruppo interdisciplinare.
2. Essere in grado di presentare la propria ricerca o i risultati di una ricerca bibliografica ad un pubblico sia di specialisti che di profani.
3. 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:

1. Essere in grado di affrontare nuovi campi attraverso uno studio autonomo.

2. 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: aerospazio, microelettronica, nanotecnologie, simulazioni numeriche, analisi dati, materiali innovativi, telecomunicazioni, sistemi satellitari, meteorologia, 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, analisi di grandi basi di dati, creazione di modellie simulazioni).
- 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 **30 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.

Agli studenti che superano i 112 punti può essere attribuita la lode su proposta scritta del docente relatore e 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 del Clima e Meteorologia ed il corso "Mathematical Methods for Physics" in **inglese**

per Astrophysics and Space Science, Physics of Fundamental Interactions and Experimental Techniques e Physics of Complex Systems and Big Data.

- il corso "Meccanica Quantistica 2" in **italiano** per Fisica e Fisica dell'Atmosfera e del Clima e Meteorologia ed il corso "Quantum Mechanics" in **inglese** per Astrophysics and Space Science 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 "ASTROPHYSICS AND SPACE SCIENCE"**

Ordinamento valido per gli immatricolati dall'A.A. 2022/23

**1° ANNO****I° semestre**

[C]	Fis/02	Mathematical Methods for Physics	8 cfu
[C]	Fis/02	Quantum Mechanics	8 cfu
[C]	Fis/05	Modern Astrophysics ( <i>Astrofisica Moderna</i> )	6 cfu
[C]	Fis/03	Radiative Processes ( <i>Processi Radiativi</i> )	6 cfu

**II° semestre**

[C]	Fis/05	Relativity and Cosmology (*) ( <i>Relatività e Cosmologia</i> )	6 cfu
[C]	Fis/01	Astrophysical Techniques ( <i>Tecniche Astrofisiche</i> )	8 cfu
[AI]	---	Attività a Scelta <i>Da Lista 1</i>	6 cfu
[UL]	FIS/05	Big data, Machine Learning and Astrophysical Data ( <i>Big data, Machine Learning e dati astrofisici</i> )	4 cfu
[ASL]	---	Attività a scelta libera (v. nota 2)	6 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	2 cfu

**2° ANNO****I° semestre**

[C]	Fis/05	Numerical Methods for Astrophysics	6 cfu
[AI]	---	Attività a Scelta <i>Da Lista 2</i>	6 cfu
[AI]	---	Attività a Scelta <i>Da Lista 2</i>	6 cfu
[ASL]	---	Attività a scelta libera (v. nota 2)	6 cfu
[- -]	---	Tesi	6 cfu

**II° semestre**

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

Totale Crediti 120

Gli studenti immatricolati nell'A.A. 2019/20 e negli anni accademici precedenti seguiranno il curriculum previsto al momento della immatricolazione.

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

**Lista 1**

FIS/03 Fisica dei Plasmi (Plasma Physics) [II semestre]

FIS/04 Astroparticle Physics (*Fisica delle Astroparticelle*) [II semestre]

FIS/05 Celestial Mechanics and Dynamical Systems (*Meccanica Celeste e sistemi dinamici*) [II semestre]

FIS/05 High Energy Astrophysics (*Astrofisica delle Alte Energie*) [II semestre]

### Lista 2

- FIS/01 Gravitational Physics [I semestre]
- FIS/05 Active Galactic Nuclei [I semestre]
- FIS/05 Advanced Cosmology [I semestre]
- FIS/05 Astrobiology and Habitability (*Astrobiologia e Abitabilità*) [I semestre]
- FIS/05 Clusters of Galaxies [I semestre]
- FIS/05 Exoplanets [I semestre]
- FIS/05 Gravitational Waves (*Onde Gravitazionali*) [I semestre]
- FIS/05 Planetary Sciences and Space Missions (*Scienze Planetarie e Missioni Spaziali*) [I Semestre]
- FIS/05 Stellar Structure and Evolution (*Struttura ed Evoluzione Stellare*) [I semestre]
- FIS/06 Space Science (*Scienza dello Spazio*) [I semestre]
- FIS/06 Space Weather (*Climatologia Spaziale*) [I semestre]

### Nota 1

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.

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

### Nota 2

Esiste un curriculum con numero contingentato di accessi “Master program in Astrophysics and Space Science-MASS” vedere il link: <https://www.master-mass.eu/>



**Curriculum FISICA**

Il curriculum Fisica si articola nei seguenti quattro 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
[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
[ASL]	---	1 esami a scelta libera	6 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	2 cfu

**2° ANNO****I° semestre**

[C]	Fis/04	Fisica delle Particelle Elementari 1	6 cfu
[C]	---	1 esame a scelta da Elenco 1 (Fis/05 o Fis/06)	6 cfu
[AI]	---	1 esame a scelta da Elenco 3	6 cfu
[ASL]	---	1 esami a scelta libera	6 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/01 da Elenco 2

**ELENCO 1 - CFU 6**

FIS/05 Gravitazione [II semestre] (Gravitation)

FIS/05 Onde Gravitazionali [I semestre] (Gravitational Waves)

FIS/05 Relativity and Cosmology [II semestre]

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici [II semestre]

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

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

FIS/01 Cibernetica Applicata [II semestre]

FIS/01 Elettronica 2 [II semestre]

FIS/01 Introduzione alle Tecnologie Quantistiche [II semestre]

FIS/01 Microelettronica [II semestre]

FIS/02 Fisica Teorica 1 [II semestre]  
 FIS/02 Meccanica Statistica 2 [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 Plasmi [II semestre]  
 FIS/03 Fisica dei Solidi [II semestre]  
 FIS/03 Meccanica Statistica 2 [II semestre]  
 FIS/03 Teoria Quantistica della Materia [II semestre]  
 FIS/04 Fisica delle Astroparticelle [II semestre] (*Astroparticle Physics*)  
 FIS/04 Metodologie Sperimentali per la Ricerca dei Processi Rari [II semestre] (*Underground*)  
 FIS/04 Nuclear Sciences and Applications [II semestre]  
 FIS/05 Relativity and Cosmology [II semestre]  
 FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici [II semestre]

**ELENCO 3 - CFU 6 (se non altrimenti indicato)**

FIS/01 Acceleratori di Particelle (*Particle Acc. for Science and Interdisciplinary Applications*) [I semestre]  
 FIS/01 Elettronica Digitale [I semestre]  
 FIS/01 Fisica Computazionale (8 cfu) [I semestre]  
 FIS/03 Fisica dei Dispositivi a Stato Solido [I semestre]  
 FIS/03 Materiali e Fenomeni a Basse Temperature [I semestre]  
 FIS/03 Fisica Teorica della Materia [I semestre]  
 FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari 2 [I semestre] (*Advanced Particle Physics*)  
 FIS/04 Fisica Nucleare [I semestre] (*Nuclear and Hadronic Physics*)  
 FIS/04 Radioattività (*Radioactivity*) [I semestre]  
 FIS/05 High Energy Astrophysics [II 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	8 cfu
[AI]	Fis/07	Teoria e Tecniche Comp. per la Fisica Biologica	6 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	2 cfu

**2° ANNO****I° semestre**

[C]	---	1 esame a scelta da Elenco 1 (**)	6 cfu
[AI]	Fis/07	Fisica Biologica 2	6 cfu
[ASL]	---	2 esami a scelta libera	12 cfu
[- -]	---	Tesi	8 cfu

**II° semestre**

[- -]	---	Tesi	30 cfu
			<i>Totale Crediti 120</i>

(\*) Se non già sostenuto, altrimenti un corso a scelta dall'Elenco 3  
 (\*\*) I corsi a scelta possono essere erogati e dunque seguiti in un semestre diverso. Lo studente è invitato a proporre un piano di studi in cui i corsi a scelta da elenco ed a scelta completamente libera siano individuati in modo da bilanciare i cfu per ciascun semestre.

**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 and Hadronic Physics [I semestre]
- FIS/04 Particle Physics [I semestre]
- FIS/04 Radioattività (*Radioactivity*) [I semestre]
- FIS/04 Nuclear Sciences and Applications [II semestre]

**ELENCO 2:**

- FIS/05 Astrobiology and Habitability (*Astrobiologia e Abitabilità*) [I semestre]
- FIS/05 Relativity and Cosmology [II semestre]
- FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici [II semestre]

**ELENCO 3:**

- FIS/01 Misure ed Analisi di Biosegnali (*Measurement and Analysis of Biosignals*) [I semestre]
- FIS/01 Laboratorio di Elettronica (8 cfu) [II semestre]
- FIS/02 Teorie dei Campi e Particelle 1 [II semestre]
- FIS/03 Fisica dei Plasmi [II semestre]
- FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici [II semestre]
- FIS/07 Ionizing Radiation for Medical Physics [I semestre]
- FIS/07 Fisica Medica [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	Fisica Teorica della Materia	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 Fisica dei Dispositivi a Stato Solido [I semestre]

FIS/03 Fisica dei Liquidi e dei Sistemi Disordinati [I 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 Complementi di Ottica [II semestre]

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

FIS/03 Ottica Quantistica [II semestre]

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

FIS/04 Fisica Nucleare [I semestre]

FIS/04 Nuclear Sciences and Applications [II semestre]

FIS/07 Fisica del Neutrone e Applicazioni [II semestre]

BIO/10 Biochimica [I semestre]

**ELENCO 2**

Corso a scelta FIS/05 o FIS/06

FIS/05 Modern Astrophysics [I semestre]

FIS/05 Relativity and Cosmology [II semestre]

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici [II 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]	Fis/01	Fisica Computazionale	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 Laboratory of Fundamental Interaction [I semestre] (10 CFU)

**ELENCO 1- CFU 6**

FIS/03 Meccanica Statistica 2 [I semestre]

FIS/03 Fisica Teorica della Materia [I semestre]

FIS/03 Fisica dei Solidi [II semestre]

FIS/03 Teoria Quantistica della Materia [II semestre]

FIS/04 Particle Physics [I semestre]

FIS/04 Advanced Particle Physics [I semestre]

FIS/04 Nuclear and Hadronic Physics [I semestre]

FIS/05 Gravitation [II semestre]

**ELENCO 2 - CFU 6**

FIS/05 Modern Astrophysics [I semestre]  
 FIS/05 Relativity and Cosmology [II semestre]  
 FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici [II semestre]

*possono essere scelti i seguenti insegnamenti in lingua inglese*

FIS/05 Active Galactic Nuclei [I semester]  
 FIS/05 Astrobiology and Habitability [I semester]  
 FIS/05 Clusters of Galaxies [I semester]  
 FIS/05 Exoplanets [I semester]  
 FIS/05 Gravitational Waves [I semester]  
 FIS/05 Planetary Sciences and Space Missions [I semester]  
 FIS/05 Stellar Structure and Evolution [I semester]  
 FIS/05 Celestial Mechanics and Dynamical Systems [II semestre]  
 FIS/05 High Energy Astrophysics [II semestre]  
 FIS/06 Space Science [I semester]  
 FIS/06 Space Weather [I semester]

### **ELENCO 3 - CFU 6**

FIS/01 Gravitational Physics (*Fisica della Gravitazione*) [I semestre]  
 FIS/02 Supersimmetria [I semestre]  
 FIS/02 Teorie Relativistiche e Supergravità [I semestre]  
 FIS/02 Complex and Neural Networks (8CFU) [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 Meccanica Statistica 2 [I semestre]  
 FIS/02 Optimization and Statistical Mechanics (8 CFU) [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 Teorica della Materia [I semestre]  
 FIS/03 Fisica dei Solidi [II semestre]  
 FIS/03 Teoria Quantistica della Materia [II semestre]  
 FIS/04 Particle Physics [I semestre]  
 FIS/04 Advanced Particle Physics [I semestre]  
 FIS/04 Nuclear and Hadronic Physics [I semestre]  
 FIS/04 Nuclear Sciences and Applications [II semestre]  
 FIS/05 Relativity and Cosmology [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 DEL CLIMA E METEOROLOGIA"****1° ANNO****I° semestre**

[C]	Fis/02	Metodi Matematici della Fisica 2	9 cfu
[C]	Fis/01	Fisica Computazionale	8 cfu
[AI]	Fis/06	Telerilevamento	8 cfu
[AI]	Fis/06	Oceanografia Fisica	6 cfu
<b>TOTALE</b>			<b>(31 CFU)</b>

**II° semestre**

[C]	Fis/06	Fisica dei Sistemi Dinamici	6 cfu
[C]	Fis/02	Meccanica Statistica	6 cfu
[AI]	Fis/06	Laboratorio di Fisica dell'Atmosfera	8 cfu
[ASL]	---	1 esame a scelta libera	6 cfu
[-]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	2 cfu
<b>TOTALE</b>			<b>(28 CFU)</b>

**2° ANNO****I° semestre**

[C]	Fis/03	Meccanica Statistica 2	6 cfu
[C]	Fis/02	Fisica dei Fluidi Complessi e Turbolenza	8 cfu
[ASL]	---	1 esame a scelta libera	6 cfu
[-]	---	Tesi	11 cfu
<b>TOTALE</b>			<b>(31 CFU)</b>

**II° semestre**

[-]	---	Tesi	30 cfu
			<i>Totale Crediti 120</i>

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

Cheminamica dell'Atmosfera (FIS/06 – 8 cfu) [I semestre]

Meteorologia Sinottica (FIS/06 – 6 cfu) [I semestre]

Disponibile anche:

Space Weather (FIS/06 – 6 cfu) [I semestre]

## Curriculum "PHYSICS OF FUNDAMENTAL INTERACTION AND EXPERIMENTAL TECHNIQUES"

### 1° ANNO

#### I° semestre

[C]	Fis/02	Mathematical Methods for Physics	8 cfu
[C]	FIS/04	Particle Physics	6 cfu
[C]	FIS/04	Nuclear and Hadronic Physics	6 cfu
[AI]	- - -	Elective Course from List 1	6 cfu
			<b>Tot 26</b>

#### II° semestre

[C]	FIS/02	Quantum Field Theory	8 cfu
[C]	FIS/04	Astroparticle Physics	6 cfu
[AI]	FIS/05	Gravitation	6 cfu
[AI]	- - -	2 Elective Courses from List 2	12 cfu
[L- Lin/12]	- - -	English (advanced)/Italian	2 cfu
			<b>Tot 34</b>

### 2° ANNO

#### I° semestre

[C]	FIS/01	Laboratory of Fundamental Interactions	10 cfu
[ASL]	- - -	Elective Course (pref. List 1/2)	6 cfu
[ASL]	- - -	Elective Course (pref. List 1/2)/Stage	6 cfu
[- -]	- - -	Thesis	6 cfu
			<b>Tot 28</b>

#### II° semestre

[- -]	- - -	Thesis	32 cfu
			<i>Total CFU 120</i>

#### LIST 1 - CFU 6 – First Semester

- FIS/01 Advanced Statistics (10 cfu) [I semestre]
- FIS/01 Computational Physics (8 CFU) [I semestre]
- FIS/01 Particle Accelerators for Science and Interdisciplinary Applications [I semestre]
- FIS/01 Space Instruments [I semestre]
- FIS/02 Quantum Mechanics (8 CFU) [I semestre]
- FIS/03 Materials Science [I semestre]
- FIS/04 Advanced Particle Physics [I semestre] (Fisica delle particelle elementari 2)
- FIS/04 Radioactivity [I semestre]
- FIS/05 Gravitational Waves [I semestre]
- FIS/07 Ionising Radiation for Medical Physics [I semestre]

#### LIST 2 - CFU 6 – Second Semester

- FIS/01 Gravitational Physics [I semestre]



FIS/01 Statistical Data Analysis [II semestre]

FIS/02 Optimization and Statistical Mechanics (8 CFU) [II semestre]

FIS/02 Complex and Neural Networks (8 CFU) [II semestre]

FIS/04 Nuclear Sciences and Applications [II semestre]

FIS/07 Nuclear Physics and Neutron Instrumentation [II semestre]

Corsi in Italiano ma che possono essere erogati in lingua inglese su richiesta degli studenti.

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

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

## 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

FIS/01 Computational Physics [I semestre]

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

NOTA: Per maggiori dettagli sugli insegnamenti erogati sarà sufficiente collegarsi alla pagina [Docenti e Programmi](#) e cliccare la voce programma.

### ACTIVE GALACTIC NUCLEI (6 Cfu)

*Prof. Francesco Tombesi*

Active galactic nuclei (AGN), supermassive black hole (SMBH) paradigm, standard model of AGN. Spectral Energy Distribution. Accretion disk physics. Thermal and non-thermal emission and variability. X-ray corona, relativistic reflection and strong gravity fields. Relativistic jets and winds/outflows. Plasma emission and absorption spectroscopy. Broad line region and narrow line region, cloud properties, Baldwin effect. Reverberation mapping and SMBH mass estimates. Cosmological framework, luminosity distance. Surveys, Eddington effect, K-correction. Selection criteria. logN-logS. Luminosity function and its evolution with cosmological redshift. Cosmic Downsizing. SMBH-galaxy co-evolution. AGN Feedback. Black hole growth by accretion and merging. Connection to gravitational waves and multimessenger astrophysics.

*Nuclei galattici attivi (AGN), PARADIGMA NERO SUPERMAZIONI (SMBH), modello standard di AGN. Distribuzione di energia spettrale. Fisica del disco ACREET. Emissione e variabilità termica e non termica. Corona X-ray, riflessione relativistica e forti campi di gravità. Getti e venti / deflussi relativistici. Spettroscopia plasmatica e spettroscopia di assorbimento. Ampia regione della linea e regione stretta, proprietà cloud, effetto Baldwin. Mapping di riverbero e stime di massa SMBH. Quadro cosmologico, distanza di luminosità. Indagini, Effetto Eddington, K-correzione. Criteri di selezione. Logn-log. Funzione di luminosità e la sua evoluzione con redshift cosmologico. Ridimensionamento cosmico. SMBH-Galaxy Co-Evolution. Feedback AGN. Crescita del buco nero da parte di accrezione e fusione. Collegamento a onde gravitazionali e astrofisica multimediale.*

#### Testi consigliati

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

*Peterson, An introduction to Active Galactic Nuclei, Cambridge University Press*

*Lecture Notes*

\*\*\*\*\*

### ADVANCED COSMOLOGY (6 Cfu)

*Prof. Nicola Vittorio*

Gravitational instabilities in GR and 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: the concordance model and the anomalies. Redshift surveys and Baryonic Acoustic Oscillations. Future space missions: Euclid and LiteBIRD satellites.

### COSMOLOGIA AVANZATA

*Le instabilità gravitazionali in GR e nel limite del Newtonian. Lunghezza d'onda dei jeans. Diffusione e fenomeni free-streaming. Funzione di correlazione e spettro di potenza delle fluttuazioni della densità. Statistica gaussiana e condizioni iniziali. Evoluzione dello spettro di potenza nei modelli cosmologici. Funzione di correlazione galassia. Anisotropia di dipolo dello sfondo cosmico e il "grande attrattore". Anisotropie di intensità e polarizzazione del cmb. Effetto Sachs-Wolfe. Risultati da Cobe, WMAP, satelliti Planck: il modello di concordanza e le anomalie. Sondaggi redshift e oscillazioni acustiche barioniche. Missioni spaziali future: satelliti Euclid e Litebird*

#### Testi consigliati

*Vittorio, Cosmology, CRC Press*

\*\*\*\*\*

### **ADVANCED PARTICLE PHYSICS (6 Cfu)**

*Prof.ssa Anna Di Ciaccio*

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. The Standard Model of electroweak interactions and the Higgs mechanism. Charged and neutral weak currents. The Weinberg

### **FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI 2**

*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.*

\*\*\*\*\*

### **ADVANCED QUANTUM MECHANICS (8 Cfu)**

*Prof. Alberto Salvio*

Fundamental principles of quantum mechanics and understanding thereof. Symmetries and conserved quantities in quantum mechanics. Path integral and its use for the semiclassical expansion and the classical limit. Potential scattering. Stationary states. Wave packets. Cross section. Partial waves. Optical theorem. Lippmann-Schwinger equation. Born series. Relativistic quantum mechanics and some applications to particle physics.

### **MECCANICA QUANTISTICA**

*Principi fondamentali della meccanica quantistica e della loro comprensione. Simmetrie e quantità conservate nella meccanica quantistica. Percorso integrale e il suo uso per l'espansione semiclassica e il limite classico. Scattatura potenziale. Stati stazionari. Pacchetti d'onda. Sezione trasversale. Onde parziali. Teorema ottico. Equazione Lippmann-Schwinger. Serie nata. Meccanica quantistica relativistica e alcune applicazioni alla fisica delle particelle.*

#### Testi consigliati

*"Lectures on Quantum Mechanics", S. Weinberg, Cambridge University Press*

*"The Path Integral approach to Quantum Mechanics", R. Rattazzi: <https://usersnmm.pd.in>*

\*\*\*\*\*

### **ADVANCED STATISTICS (10 Cfu)**

*Dott. Giuseppe Consolini, prof. Francesco Berrilli (codocenza)*

Introduzione alla teoria della probabilità; Funzioni di distribuzioni: rappresentazione e proprietà, Statistica degli eventi estremi; Elementi per l'analisi statistica parametrica e non parametrica; Teoria dell'informazione e misura della correlazione; Esercitazioni pratiche applicative.

### **ANALISI STATISTICA AVANZATA**

*Introduction to the probability theory; Distribution functions: representation and features; Extreme event statistics; Elements of parametric and non-parametric statistical analysis, Information Theory and correlation; Practical exercitations.*

\*\*\*\*\*

### **ASTROBIOLOGY AND HABITABILITY (6 Cfu)**

*Prof. Amedeo Balbi*

- Introduction to astrobiology.

- The universe and the cosmic environment
- The formation of chemical elements
- Stellar 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)
- Lithopanspermia
- Search for life in the solar system
- Search for life outside the solar system.
- Galactic habitability

### **ASTROBIOLOGIA E ABITABILITA'**

- *Introduzione all'astrobiologia.*
- *L'universo e l'ambiente cosmico*
- *la formazione di elementi chimici*
- *Formazione e ipotesi stellari sull'origine dei sistemi planetari*
- *Requisiti per la vita come lo conosciamo*
- *Chimica prebiotica, evoluzione molecolare e vita cellulare*
- *Estremofili e la ricerca della vita su altri pianeti*
- *Spazio come un ambiente estremo.*
- *Esperimenti in orbita a bassa terra (esporsi e biopan)*
- *Lithopanspermia.*
- *Cerca la vita nel sistema solare*
- *Cerca la vita al di fuori del sistema solare.*
- *Abitabilità galattica*

#### Testi consigliati

Rothery, Gilmour & Sephton: «An Introduction to Astrobiology»

Scharf: «Extrasolar Planets and Astrobiology»

\*\*\*\*\*

### **ASTROPHYSICAL TECHNIQUES (6 Cfu)**

*Prof. Luigi Mancini*

The aim of this course is to provide a state-of-the-art account of the instruments and techniques used in modern astrophysics. Telescopes, mounts and introduction to real optics. High spatial resolution:

Adaptive Optics:

Focal Plane instrumentation: photometry and spectroscopy, imaging spectroscopy.

Photometry: filters, photometric systems, color indexes, distance modulus and color correction; atmospheric extinction

Introduction to X- and Gamma-optics and to radio astronomy.

The detectors: CCD, CMOS, and hybrid sensors. EMCCD for X-ray. Cryogenic systems for the Infra-red. Sampling and control electronics. Calibration techniques

In the Lab:

- Calibration of a CCD (linearity and Photon Transfer technique);
- Michelson interferometer;
- The Monochromator;
- Analysis of X-telescope data;

### **TECNICHE ASTROFISICHE**

*Lo scopo di questo corso è quello di fornire un resoconto all'avanguardia degli strumenti e delle tecniche utilizzate nell'astrofisica moderna. Telescopi, montaggio e introduzione alla vera ottica. Elevata risoluzione spaziale:*

*Ottica adattiva.*

*Strumentazione piano focale: fotometria e spettroscopia, spettroscopia di imaging.*

*Fotometria: filtri, sistemi fotometrici, indici a colori, modulo di distanza e correzione del colore; estinzione atmosferica*

*Introduzione a X- e Gamma-Ottica e Astronomia della Radio.*

*I rivelatori: CCD, CMOS e sensori ibridi. EMCCD per raggi X. Sistemi criogenici per l'infrarossi. Elettronica di campionamento e controllo. Tecniche di calibrazione*

*Nel laboratorio:*

- *calibrazione di un CCD (linearità e tecnica di trasferimento di fotoni);*
- *Interferometro MICHELSON;*
- *il monocromatore;*
- *analisi dei dati X-Telescope;*

*Testi consigliati*

*C.R. Kitchin - Astrophysical Techniques Lecture Notes*

\*\*\*\*\*

### **BIG DATA, MACHINE LEARNING AND ASTROPHYSICAL (4 Cfu)**

*Dott. Giancarlo De Gasperis , Prof. Dario Del Moro (codocenza)*

*Introduction and Definition of Machine Learning (ML) Where and Why ML is used; Types of Learning Supervised Learning – Linear and Nonlinear Regression; Unsupervised Learning – Clustering; Supervised Learning – SVM; Supervised Learning – Decision Trees; Unsupervised Learning – PCA Application to Astrophysical Data-sets*

### **BIG DATA, MACHINE LEARNING E DATI ASTROFISICI**

*Introduzione e definizione di apprendimento automatico (ml) dove e perché è usato ml; Tipi di apprendimento*

*Apprendimento supervisionato - regressione lineare e non lineare; Apprendimento non supervisionato - clustering;*

*Apprendimento supervisionato - SVM; Apprendimento supervisionato - alberi decisionali; Apprendimento senza*

*sovveglianza - Applicazione PCA a set di dati astrofisici*

*Testi consigliati*

*Lecture Notes*

*Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow (A. Gerone - O'Reilly)*

*Pattern Recognition and Machine Learning (C. Bishop - Springer)*

*Machine Learning Techniques for Space Weather (S. Wing et al. - Elsevier)*

\*\*\*\*\*

### **CELESTIAL MECHANICS AND DYNAMICAL SYSTEMS (6 Cfu)**

*Prof. Giuseppe Pucacco*

*Review of Hamiltonian mechanics. Integrability, first integrals, symmetries. 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 E SISTEMI DINAMICI**

*Recensione di Hamiltonian Mechanics. Integrabilità, primi integrali, simmetrie. Non integrabilità, instabilità, caos.*

*Metodi analitici e numerici per lo studio dei sistemi dinamici hamiltoniani. Problema a due corpo. Problema a tre corpo.*

*Problema del corpo n. Movimento in potenziali assegnati.*

*Testi consigliati*

*Boccaletti D. & Pucacco G. [1999] Theory of Orbits (Springer-Verlag, Berlin).*

*Landau, L. D. Lifshitz, E. M. [1976] Mechanics, (Butterworth-Heinemann, Oxford).*

\*\*\*\*\*

**CHEMODINAMICA DELL'ATMOSFERA (8 Cfu)***Dott.ssa 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)***Prof. Paolo Camarri*

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 risolvente (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  $\square$ . 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)

\*\*\*\*\*

**CLUSTERS OF GALAXIES (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, Ly\_alpha and X-ray-forest. Estimate of the mass of clusters of galaxies: dynamical methods, observations in X-ray and microwave bands, gravitational lenses. Cosmology with clusters of galaxies: mass function, scaling laws.

**CLUSTERS DI GALASSIE**

*Struttura su larga scala dell'universo. Formazione e dinamica del web cosmico, di cluster e gruppi di galassie. Semplici modelli di collasso per la materia oscura. Fisica del gas intergalattico e intracluster. Meccanismi di riscaldamento e raffreddamento. Arricchimento chimico del gas intergalattico e intracluster. Osservazioni di cluster di galassie nelle fasce raggi X e a microonde, Ly\_alpha e X-Ray Forest. Stima della massa di grappoli di galassie: metodi dinamici, osservazioni nelle fasce raggi X e microonde, Lenti gravitazionali. Cosmologia con cluster di galassie: funzione di massa, leggi di ridimensionamento.*

Testi consigliati

*Introduction to gravitational lensing (Massimo Meneghetti; lecture scripts)*

*Introduzione alla cosmologia (Francesco Lucchin)*

*Lecture notes*

\*\*\*\*\*

**COMPLEMENTI DI OTTICA (6 Cfu)**

*Prof. Paolo Proposito*

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

24



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. Dicroism. Birifrangence. Induced optical effects. Light modulation: electro-optic effect, acusto-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.

\*\*\*\*\*

### **DIGITAL DATA ANALYSIS (8 Cfu)**

Dott. Luca Giovannelli

Section I: The Transforms

Signal Processing I: Sampling of the Signal (The Sampling Theorem, The Convolution, The Correlation, Correlation is not Causation, Decomposition of the Signal on the Sphere)

Signal Processing II: The Fourier Transform (The DFT, The FFT, The Power Spectrum, The Phases, Discretization of the Signal on the Sphere). The Information: Wavelets, PCA and EMD (Data compression, MP3, JPEG2000, JP3D)

Section II: The Signal and The Noise

The Noise: Noise Sources, Noise Types and Spectra, SNR maximization, Noise suppression

Data Restoring: Image reconstruction vs Scanning, Speckle Imaging, Blind Deconvolution

Data Analysis: Patterns in Data, Punctual Operatore and Filters, More Transforms, Morphological Operators and Descriptors

In the LAB:

Data Access: FITS + multiFITS

Datafication examples: H-R diagram, Kepler data and star periods

The Fourier Transform: Fourier spectrum, Digital Filters, Data manipulation (shifts, transform)

Data-cubes Analysis: Wavelet Spectra, EMD analysis  
Data Compression: Image quality estimators, Image information estimators.

### **ANALISI DI DATI DIGITALI**

*Sezione I: Le Trasformate*

*Elaborazione del Segnale I: Campionamento del Segnale (Teorema del campionamento, la convoluzione, la correlazione, correlazione non equivale a causa, decomposizione del segnale sulla sfera). Elaborazione del Segnale II: La trasformata di Fourier (la DFT, la FFT, Lo Spettro di Potenza, Le Fasi, Discretizzazione del segnale sulla sfera)*

*L'Informazione: wavelets, PCA ed EMD (Compressione di dati, MP3, JPEG200, JP3D)*

*Sezione II: il Segnale ed il Rumore: Il Rumore: Sorgenti di Rumore, Tipi e Spettri del Rumore, Massimizzazione del Rapporto Segnale-Rumore, Soppressione del Rumore*

*Ricostruzione del dato: Ricostruzione dell'immagine contro la scansione, Speckle imaging, Blind Deconvolution. Analisi dati: strutture nei dati, operatori puntuali e filtri, Altre Trasformate, Operatori morfologici e descrittori morfologici*

*In Laboratorio:*

*Accesso ai dati: FITS e FITS multipli*

*Esempi di resa in dato: Digramma H-R, dati dalla missione Kepler e le periodicità nelle stelle*

*La trasformata di Fourier: Spettro di Fourier, Filtri Digitali, Manipolazione dei dati (traslazione, trasformazione)*

*Analisi di cubi di dati: Spettri Wavelet, analisi EMD*

*Compressione Dati: Stimatori di qualità dell'immagine, stimatori di informazione nell'immagine*

\*\*\*\*\*

### **ELETTRONICA 1 (6 Cfu)**

*TBD, Dott. Davide Badoni (codocenza)*

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*

\*\*\*\*\*

### **ELEMENTI DI QCD NON PERTURBATIVA (6 Cfu)**

*Prof.ssa Giulia Maria de Divitiis*

Elementi di base della teoria delle interazioni nucleari forti, presentata con un moderno approccio non-perturbativo, e i metodi reticolari (lattice QCD) oggi centrali per la fisica del Modello Standard e sue possibili estensioni.

### **INTRODUCTION TO NON-PERTURBATIVE QCD (6 Cfu)**

*Basic elements of the theory of strong nuclear interactions, presented with a modern non-perturbative approach, and the lattice methods (lattice QCD) today central to the physics of the Standard Model and its possible extensions.*

\*\*\*\*\*

### **ELETTRONICA 2 (6 Cfu)**

*Prof. Giulio Aielli*

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.*

\*\*\*\*\*

## **ELETTRONICA DIGITALE (6 Cfu)**

*Dott. Roberto Ammendola*

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.*

\*\*\*\*\*

## **ESPERIMENTI DIDATTICI IN FISICA CLASSICA E MODERNA (6 Cfu) valido percorso 24 CFU**

*Prof.ssa Anna Sgarlata*

La fisica sperimentale ed il metodo scientifico: unità di misura e dimensioni, errori di una misura e loro propagazione, i grafici; meccanica (statica, dinamica); termologia; i fluidi; le onde: ottica geometrica, ottica fisica, acustica; elettrostatica e magnetostatica, elettromagnetismo; fisica moderna.

## **EDUCATIONAL EXPERIMENTS IN CLASSICAL AND MODERN PHYSICS (6 Cfu)**

Experimental physics and the scientific method: units of measurement and dimensions, errors of a measurement and their propagation, graphs; mechanics (static, dynamic); thermology; fluids; waves: geometric optics, physical optics, acoustics; electrostatics and magnetostatics, electromagnetism; modern physics.

\*\*\*\*\*

## **EXOPLANETS (6 Cfu)**

*Prof. Luigi Mancini*

Introduction: Definition of a planet, Planet categories, Discovery status Radial velocities: Orbits and orbit fitting, Measurement principles, Wavelength calibration, Accuracy limits and error sources, Radial-velocity instruments, Radial-velocity surveys, Properties of the radial velocity planets, Multiple planet systems, Planets around binary and multiple stars Astrometry: Microarcsec astrometry, Modelling, Astrometric measurements from ground, Astrometric measurements from space Timings: Pulsars, Pulsating stars, Eclipsing binaries Microlensing: Principles of gravitational lensing, Light curves, Modelling, Microlensing observations, Results Transits: Surveys from the ground, Surveys from the space, Follow-up observations, Accuracy: photometric and timing, Light curve analysis, Modelling, Photometric effects, Orbital phase curves, Rossiter-McLaughlin effect, Secular timing effects, Transit timing variations, Trojans, Exomoons, Transmission Spectroscopy, Emission Spectroscopy, Properties of transiting planets, Properties of host stars, Multiple planet systems, Circumbinary planets. Imaging: Atmospheric effects, Coronagraphic masks, Ground-based imaging instruments, Space-based imaging instruments, Surveys and discoveries Host stars: Physical properties, Stellar rotation, Element abundances, Occurrence versus stellar type, Star-planet interactions Formation and evolution: Protoplanetary disks, Rocky-planet formation, Gas-planet formation, Resonances, Long-term stability, Orbital migration, Tidal effects, Planets in multiple star systems, Solar-system formation Interiors and atmospheres: Planet constituents, Planet interiors, Planet atmospheres, Mass-radius relations, Transit and occultation spectra, High-resolution spectroscopy, Habitability Brown dwarfs: Observations and discoveries, Follow-up observations, Classification, Physical properties, Formation Free-floating planets.

## **ESOPIANETI**

*INTRODUZIONE: Definizione di un pianeta, categorie di pianeta, stato di scoperta Velocità radiali: orbita e orbita, principi di misurazione, calibrazione della lunghezza d'onda, limiti di accuratezza e sorgenti di errore, strumenti radiali-velocità, sondaggi radiali, indagini radiali, proprietà dei pianeti radiali di velocità, multiplo Pianeta Systems, pianeti attorno all'astrometria binaria e multipla Astrometria: microarcsec Astrometria, modellazione, misure astrometriche da terra, misurazioni astrometriche da tempi dello spazio: Pulsars, stelle pulsante, binari di eclipsing Microlensing: Principi di lente gravitazionale, curve di luce, modellazione, osservazioni di microlensing, risultati TRANSESTIS: Sondaggi da terra, indagini dello spazio, osservazioni di follow-up, precisione: fotometrica e tempistica, analisi della curva della luce, modellazione, effetti fotometrici, curve di fase orbitale, effetto di rossiter-mclaughlin, effetti di temporizzazione secolare, variazioni di temporizzazione di transito, trojan , Esomioni, spettroscopia di trasmissione, spettroscopia delle emissioni, Properti es di pianeti transitori, proprietà delle stelle host, sistemi multipli pianeti, pianeti circumborinari. Imaging: effetti atmosferici, maschere coronagraphic, strumenti di imaging basati su fondo, strumenti di imaging basati su spazio, sondaggi e scoperte Stelle dell'ospite: Proprietà fisiche, rotazione stellare, abbondanza di elementi, occorrenza contro tipo stellare, formazione di interazioni a stella-pianeta e evoluzione: dischi protoplanetari , Formazione rocciosa del pianeta, formazione del pianeta roccioso, formazione di gas-pianeta, risonanze, stabilità a lungo termine, migrazione orbitale, Effetti di marea, pianeti in più sistemi stellari, interni di formazione del sistema solare e atmosfere: componenti del pianeta, pianeta, atmosfere del pianeta, raggio di massa Spectra di relazioni, transito e occultazione, spettroscopia ad alta risoluzione, abitabilità nane marroni: osservazioni e scoperte, osservazioni di follow-up, classificazione, proprietà fisiche, pianeti fluttuanti di formazione.*

### Testi consigliati

*M. Perryman, The Exoplanet Handbook, 2nd edition, 2018, Cambridge University Press*

\*\*\*\*\*

**FENOMENOLOGIA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (6 Cfu)**

Prof. Roberto Frezzotti

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 leptonici 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. Golovich, 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" - Ageo

\*\*\*\*\*

### **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 fondamenti 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*

Testi consigliati:

J. Singh "Semiconductor Devices. Basic principles", John Wiley &amp; Sons

K.F. Brennan "The Physics of Semiconductors: With Applications to Optoelectronic Devices" Cambridge University Pr.

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

Per approfondire:

S.M. Sze "Semiconductor Devices: Physics and Technology" Ed. Wiley

B.G. Streetman, S.K. Banerjee "Solid State Electronic Devices" Pearson International Edition

R. F. Pierret "Semiconductor Device Fundamentals", Ed. Addison Wesley

\*\*\*\*\*

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

Prof. 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. Riconnesione 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)**

Prof. 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 conductivity, Ohms law, mean free path, free electron gas, Bloch theorem, energy bands, effective mass, Boltzmann approximation, relaxation time, electrical current and conductivity. Quantum confined systems: 2 dimensional electron gas, quantum wells, etero structures, multilayers, nanowires, nanodots.*

*Effects of the magnetic field: Landau levels, Subnikov-Debaas 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 graphene. 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.Ascroft and N.D.Mermim: Solid State Physics, Saunders*

\*\*\*\*\*

### **FISICA DELLE ASTROPARTICELLE (6 Cfu)**

*Dott. Pierluigi Belli*

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 Cosmology, Oxford University + bibliography given during lectures*

\*\*\*\*\*

## **FISICA DELLE PARTICELLE (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->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, Somma 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<sup>2</sup>, scattering inelastico e-p, scattering inelastico e-p a basso Q<sup>2</sup> ed alto Q<sup>2</sup> (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)<sub>L</sub>, 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.

### **PARTICLES PHYSICS**

*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-Q2, e-p inelastic scattering, e-p inelastic scattering at low-Q2 and high-Q2 (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 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 AND HADRONIC 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 unpolarized 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 1 (6 Cfu)**

Prof. Massimo Bianchi

Principio di Relatività. Trasformazioni di Lorentz. Cono di luce. Quadri-vettori. Gruppo di Lorentz. Generatori e regole di commutazione. Meccanica relativistica. Cinematica. Quadri-velocità, quadri-impulso. Massa relativistica. Composizione delle velocità. Dinamica relativistica. Quadri-forza. Momento angolare. Vettore di Pauli-Lubanski. Carica in un campo elettromagnetico. Forza di Lorentz. Quadri-potenziale. Tensore del campo elettro-magnetico. Invarianza di gauge. Moto in campi elettrici e magnetici costanti. Equazioni di Maxwell in forma covariante. Trasformazioni di Lorentz del campo elettro-magnetico. Invarianti relativistici. Quadri-corrente. Conservazione locale e globale della carica. Dualità elettro-magnetica, monopoli magnetici. Lagrangiana per particelle e per il campo elettro-magnetico. Accoppiamento minimale. Tensore energia-impulso. Teorema del viriale relativistico. Campo elettro-statico. Espansione in multi-poli. Laplaciano in coordinate curvilinee ortogonali. Moto in un campo Coulombiano. Campo magneto-statico. Fattore giromagnetico. Precessione di Larmour. Campo generato da una carica in moto. Potenziali di Linaard-Wiechert. Equazione delle onde elettromagnetiche. Onde piane mono-cromatiche. Decomposizione spettrale. Polarizzazione. Intensità. Oscillazioni proprie modi normali. Propagazione della luce. Ottica geometrica. Iconale. Diffrazione.

Radiazione elettromagnetica. Radiazione di dipolo. Radiazione di frenamento. Radiazione di sincrotrone. Diffusione della luce. Equazioni della Magneto-idrodinamica. Diffusione, viscosità e pressione magnetiche. Flussi. Plasm: oscillazioni e instabilità. Onde magneto-idrodinamiche.

### **THEORETICAL PHYSICS**

*Principle of Relativity. Lorentz transformations. Cone of light. Quadri-carriers. Lorentz group. Generators and switching rules. Relativistic mechanics. Kinematics. Quad-speed, four-pulse. Relativistic mass. Composition of speeds. Relativistic dynamics. Quadri-force. Angular momentum. Vector of Pauli-Lubanski. Charge in an electromagnetic field. Lorentz force. Quadri-potential. Electro-magnetic field tensor. Gauge invariance. Motion in constant electric and magnetic fields. Maxwell equations in covariant form. Lorentz transformations of the electro-magnetic field. Relativistic invariants. Quadri-current. Local and global conservation of the office. Electro-magnetic duality, magnetic monopoles. Lagrangian for particles and for the electro-magnetic field. Minimal coupling. Energy-pulse tensor. Relativistic virial theorem. Electro-static field. Expansion in many-poles. Laplacian in orthogonal curvilinear coordinates. Motorbike in a Coulomb field. Magneto-static field. Giromagnetic factor. Precession of Larmour. Field generated by a moving charge. Linard-Wiechert potentials. Equation of electromagnetic waves. Mono-chromatic plane waves. Spectral decomposition. Polarization. Intensity. Own oscillations normal ways. Propagation of light. Geometric optics. Iconale. Diffraction. Electromagnetic radiation. Dipole radiation. Braking radiation. Synchrotron radiation. Diffusion of light. Magneto-hydrodynamic equations. Diffusion, viscosity and magnetic pressure. Flows. Plasmas: oscillations and instability. Magneto-hydrodynamic waves.*

#### Testi consigliati:

J.D. Jackson, *Elettrodinamica Classica*, Zanichelli, 2001.

\*\*\*\*\*

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

*Prof. 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*

\*\*\*\*\*

### **FONDAMENTI DI DIDATTICA DELLA FISICA (6 Cfu) valido percorso 24 CFU**

*Prof. Francesco Berrilli*

Strategie didattiche per l'insegnamento della Fisica focalizzato sulle scuole secondarie superiori; Verso un ambiente di Insegnamento Attivo: lezioni frontali su argomenti specifici (es. moto, energia, tempo, elettricità, elettromagnetismo, circuiti CC e AC; fisica moderna), nuclei fondanti, nodi concettuali, problemi di apprendimento, superamento del senso comune (fisica ingenua) e formazione di schemi di conoscenza.

Attività di laboratorio, sugli argomenti declinati durante le lezioni frontali, di supporto allo sviluppo di



metodologie didattiche che permettano ai futuri studenti di accrescere la propria capacità in ambito di valutazione dei modelli teorici, leggi di inferenza, visualizzazione e valutazione dei risultati sperimentali. Richiami di storia della scienza come strumento didattico e sviluppo del pensiero scientifico.

*Strategies for Physics teaching; Toward an active learning environment; Lectures on specific topics (e.g. motion, energy, time, relativity, energy quantization, ...) in order to highlight the founding nuclei, conceptual nodes and learning problems, mainly related to overcoming common sense (physics naive) and the formation of knowledge schemes.*

*Laboratory activities, on the topics covered during the lectures, to support the development of teaching methodologies that allow future students to increase their skills in the field of: evaluation of theoretical models, laws of inference, visualization and evaluation of experimental results.*

*Review of the history of science as a didactic tool and development of scientific thoughts.*

Testi consigliati

*Five Easy Lessons: Strategies for Successful Physics Teaching – R. D. Knight*

*Didattica della Fisica – a cura di M. Vicentini e M. Mayer*

\*\*\*\*\*

**GRAVITATION (6 Cfu)**

*Prof. Massimo Bassan, Prof. Nicola Vittorio (codocente)*

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. 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. Le misure sperimentali della Gravitazione Classica. Il pendolo di torsione come misuratore di deboli forze. Verifiche sperimentali di LLR e LPI. Misure di Gravitomagnetismo. Onde Gravitazionali e rivelatori. Tecniche di analisi dei segnali. Il GPS e la Relatività. Tecniche Quantum Non Demolition.

**GRAVITAZIONE**

*The equivalence principle. Weak gravitational field. Geodesic motion. Physical meaning of the metric tensor. Reddening of spectral lines. Inertial forces. Tensors. Covariant derivatives. The Riemann-Christoffel tensor. 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. Experimental issues of Newtonian Gravity. Torsion pendulum as a probe of very weak forces. Experimental tests of LLR and LPI. Gravitomagnetism. Gravitational waves and their detectors. Data analysis techniques. GPS and Relativity. Quantum Non Demolition techniques.*

Testi consigliati

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

\*\*\*\*\*

**GRAVITATIONAL PHYSICS (6 Cfu)**

*Dott. Alessio Rocchi, Dott. Roberto Peron (codocenza)*

Newtonian gravitation (Potential theory, Newtonian fluid dynamics, Conserved quantities - Bodies with spherical/non-spherical symmetry, Geodesy, Tides - Keplerian motion, Perturbative methods - Tests of inverse-square law, Measurements of G). Foundations (Equivalence Principle (WEP, EEP, SEP) and its experimental tests). Post-Newtonian gravitation (PPN formalism, Main PPN effects, Equations of motion, Gravitomagnetism, PPN effects around Earth). Experimental tests of PPN gravitation (Gravitational test mass, Tracking techniques (SLR, radiometric), Geodetic satellites, Satellite dynamics in Earth orbit, Reference frames, POD of geodynamic satellites, GNSS, LLR, Cassini and other deep-space missions, BepiColombo, ISA). Tests of General Relativity with radio observations of binary

neutron star systems. Pulsar Timing: relativistic corrections to Time of Arrivals. Post Keplerian parameters in the PPN formalism. Observational results from some peculiar systems: PSR B1913+16; PSR B1534+12; PSR J0737-3039A/B. Basics on gravitational waves. Description of the dynamic evolution of a binary system of compact objects in the PPN formalism. Tests of General Relativity: waveform consistency; massive graviton; speed of GWs; equivalence principle; polarization states.

### **FISICA DELLA GRAVITAZIONE**

*Gravitazione newtoniana (teoria potenziale, fluidodinamica newtoniana, quantità conservate - corpi con simmetria sferica / non sferica, geodesia, marea - movimento kepleriano, metodi perturbativi - test di Diritto quadrato inverso, misurazioni di G). Fondazioni (principio di equivalenza (WEP, EEP, sep) e i suoi test sperimentali). Gravitazione post-newtoniana (formalismo PPN, effetti principali PPN, equazioni di movimento, gravitomagnetismo, effetti PPN attorno alla Terra). Test sperimentali di gravitazione PPN (massa di prova gravitazionale, tecniche di tracciamento (SLR, radiometriche), satelliti geodetici, dinamica satellitare in orbita terrestre, cornici di riferimento, pod di satelliti geodinamici, GNSS, LLR, Cassini e altre missioni in profondità, Bepicolombo, ISA). Test della relatività generale con le osservazioni radiofoniche dei sistemi stellari binari di neutroni. Tempi PULSAR: correzioni relativistiche al tempo degli arrivi. Posta i parametri Kepleriani nel formalismo PPN. Risultati osservativi da alcuni sistemi peculiari: PSR B1913 + 16; PSR B1534 + 12; PSR J0737-3039A / B. Nozioni di base sulle onde gravitazionali. Descrizione dell'evoluzione dinamica di un sistema binario di oggetti compatti nel formalismo PPN. Test della relatività generale: coerenza della forma d'onda; graviton massiccio; velocità di GWS; Principio di equivalenza; Stati di polarizzazione.*

#### Testi consigliati

H.C. Ohanian, R. Ruffini, *Gravitation and space-time*, Cambridge University Press, 2013 (3)

E. Poisson and C.M. Will, *Gravity: Newtonian, Post-Newtonian, Relativistic*, Cambridge University Press, 2014

M. Maggiore *Gravitational Waves Volume 1. Theory and Experiments* Oxford University Press

\*\*\*\*\*

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

*Prof.ssa Viviana Fafone*

General relativity and the weak field approximation: the wave equation for the gravitational radiation. Astrophysical sources of gravitational waves. Computation of the gravitational signal emitted by coalescent binary systems. Gravitational collapse and its messengers. Gravitational radiation emitted by neutron stars. Stochastic background. The gravitational spectrum and the possible detection techniques: polarization of the cosmic microwave background, pulsar timing array. Experimental techniques in interferometric detectors. Introduction to data analysis techniques. Exploiting the synergies with electromagnetic and neutrino observations: the multi messenger approach. Recent results and their implications in fundamental physics, astrophysics and cosmology.

### **ONDE GRAVITAZIONALI**

*Relatività generale e la debole approssimazione del campo: l'equazione dell'onda per la radiazione gravitazionale. Fonti astrofisiche di onde gravitazionali. Computation del segnale gravitazionale emesso da sistemi binari coalescenti. Crollo gravitazionale e i suoi messaggeri. Radiazione gravitazionale emessa da stelle di neutroni. Sfondo stocastico. Lo spettro gravitazionale e le possibili tecniche di rilevamento: polarizzazione dello sfondo del microonde cosmico, matrice di tempistica Pulsar. Tecniche sperimentali in rilevatori interferometrici. Introduzione alle tecniche di analisi dei dati. Sfruttando le sinergie con osservazioni elettromagnetiche e neutrine: l'approccio Multi Messenger. Risultati recenti e le loro implicazioni in fisica fondamentale, astrofisica e cosmologia*

#### Testi consigliati

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

P.R. Saulson: *Fundamentals of Interferometric Gravitational Wave Detectors*

\*\*\*\*\*

### **HIGH ENERGY ASTROPHYSICS (6 Cfu)**

42

Dott. Gianluca Israel, Dott. Marco Tavani (codocenza)

I - Introduction to high-energy astrophysics and instrumentation

Ia - Detection techniques for high-energy photons. X-ray and Gamma-ray detectors. Wolter-type telescopes and coded-aperture masks. Cherenkov radiation.

Ib - History of high-energy astrophysics and properties of the main X-ray and Gamma-ray observatories.

Ic - Main physical parameters describing the accretion of matter onto compact objects: radial and disk accretion, mass transfer, radiative efficiency, Eddington luminosity, outflows.

Id - Brief description of the main emission mechanisms in high-energy astrophysics. Blackbody, bremsstrahlung, synchrotron, Compton scattering and inverse Compton scattering. Collisional ionization and photoionization, line emission and absorption.

II - Galactic high-energy sources

IIa - Compact sources: X-ray emission from stars in the main-sequence and pre main-sequence. White dwarfs, cataclysmic variables, novae, pulsars, pulsar wind nebulae, and neutron stars. Physical properties of accreting neutron stars and stellar mass black holes. Classification of X-ray binaries.

IIb - Diffuse sources: Supernova remnants. The Galactic center region and the high-energy emission related to SgrA\*. Fermi Bubbles.

III - Extragalactic high-energy sources

IIIa - Compact sources: Active galactic nuclei (AGN), quasars, blazars. Electromagnetic counterparts of astro-particle sources. Ultraluminous X-ray sources (ULXs).

IIIb - Diffuse sources: Starburst galaxies. Cluster of galaxies..

### **ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE**

*I - Introduzione all'astrofisica e alla strumentazione ad alta energia*

*IA - Tecniche di rilevamento per fotoni ad alta energia. Rivelatori a raggi X e raggi di gamma. Telescopi di tipo wolter e maschere di apertura codificata. Radiazione di Cherenkov.*

*Ib - Storia dell'astrofisica e proprietà ad alta energia dei principali osservatori di raggi X e gamma-ray.*

*IC - principali parametri fisici che descrivono l'accrescimento della materia su oggetti compatti: accrescimento radiale e del disco, trasferimento di massa, efficienza radiativa, luminosità di Eddington, deflussi.*

*ID - Breve descrizione dei principali meccanismi di emissione nell'astrofisica ad alta energia. Blackbody, Bremsstrahlung, Synchrotron, Compton Scattering e Separate inverse Compton. Ionizzazione e fotoionizzazione collisionalizzazione, emissione di linea e assorbimento.*

*II - fonti di alta energia galattica*

*IIA - Fonti compatte: emissione a raggi X dalle stelle nella sequenza principale e nella sequenza pre-main. Nani bianchi, variabili cataclismiche, novae, pulsar, nebulose del vento pulsar e stelle di neutroni. Proprietà fisiche delle stelle di neutroni accrescenti e fori neri di massa stellare. Classificazione dei binari a raggi X.*

*IIb - Fonti diffuse: resti di supernova. La regione del Centro Galattico e l'emissione ad alta energia relativa a SGRA \*. Bolle fermi.*

*III - Fonti extragalattiche ad alta energia*

*IIIA - Fonti compatte: nuclei galattici attivi (AGN), Quasar, Blazars. Controparti elettromagnetiche di fonti di astro-particella. Fonti a raggi X ulteriori (ULX).*

*IIIB - fonti diffuse: galassie di Starburst. Cluster di galassie*

#### Testi consigliati

Lecture Notes

J. Frank, A.R. King, D.J. Raine: "Accretion Power in Astrophysics" 1994 Cambridge Univ. Press, 2002 Cambridge Univ. Press, expanded 3rd edition

Glenn F. Knoll: "Radiation Detectors for X-Ray and Gamma-Ray Spectroscopy", Third Edition (2000), John Wiley & Sons

George B. Rybicky, Alan P. Lightman: "Radiative Processes in Astrophysics", Wiley S. Shapiro, S. Teukolsky: "Black Hole, White Dwarfs and Neutron Stars" -

1983 - Wiley & Sons, NY-NY, USA P. Charles, F. Seward - Exploring the X-ray Universe - 1994 Cambridge Univ. Press 2010 Cambridge Univ. Press: expanded 2nd edition

Malcolm S. Longair: "High-Energy Astrophysics", Cambridge University Press

Fulvio Melia: "High-Energy Astrophysics", Princeton University Press  
M. Vietri: "Foundations of High Energy Astrophysics", 2008 University of Chicago press  
W.H.G. Lewin, M. van der Klis: "Compact Stellar X-ray Sources" – 2006 Cambridge Univ. Press  
Haardt F., Gorini V., Moschella U., Treves A., Colpi M.: "Astrophysical Black Holes", Springer, Lecture Notes in Physics, 905

\*\*\*\*\*

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

*Prof. 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)**

*Prof.<sup>ssa</sup> Maria 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*

\*\*\*\*\*

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

*Prof. 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)**

*Prof. Francesco Stellato*

Interazione radiazione-materia. Proprietà vibrazionali, rotazionali ed elettroniche delle molecole. Spettroscopia UV-Visibile, infrarossa, di fluorescenza e Raman. Risonanza magnetica nucleare e paramagnetica. Microscopia ottica, elettronica e a microscopia a forza atomica. Scattering statico e dinamico della luce. Sincrotroni e Laser a Elettroni Liberi. Tecniche a raggi X per lo studio dei sistemi biologici: cristallografia a raggi X, cristallografia seriale, spettroscopia di assorbimento dei raggi X, diffusione dei raggi X a piccolo e a grande angolo, imaging coerente.

### **BIOPHISICS LABORATORY**

*Radiation matter-interaction. Vibrational, rotational and electronic properties of molecules. Spectroscopic techniques aimed at the study of biological macromolecules: UV-vis spectroscopy, infrared spectroscopy, fluorescence spectroscopy, Raman spectroscopy, circular dichroism. Nuclear magnetic resonance and electron paramagnetic resonance. Optical, electron and atomic force microscopy. Static and dynamic light scattering. X-ray sources: synchrotrons and free electron lasers. X-ray radiation techniques for the study of biological molecules: X-ray crystallography, X-ray absorption spectroscopy, X-ray small and wide angle scattering, coherent X-ray imaging.*



Testi consigliati

*Cantor, Schimmel, Biophysical Chemistry Part II*

*Philipp Willmott - An Introduction to Synchrotron Radiation: Techniques and Applications, 2nd Edition*

\*\*\*\*\*

**LABORATORIO DI FISICA DELL'ATMOSFERA (8 Cfu)**

*Dott.ssa 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, ottiche ed elettroniche di bulk e di superficie della materia condensata. Spettroscopie di neutroni e Raggi X. 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.
3. Simulazione di esperimenti di spettroscopia neutronica per lo studio della materia condensata.

**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.*

\*\*\*\*\*

**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, Prof.<sup>ssa</sup> Paola Castrucci (codocenza)*

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-dinamica 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)**

*Prof.ssa Marina Migliaccio*

Complements of complex variable theory: Analytic and multivalued functions. Complex integrals. Pole expansion of meromorphic functions. Infinite product representation of complex functions. Local invertibility and the reciprocal of analytic functions. Asymptotic expansions: Integration by parts. Laplace method and Watson lemma. Stirling's formula. Stokes phenomenon and analytic continuation. Stationary phase, steepest descent and saddle point techniques. Ordinary differential equations: Distribution theory. Green's functions. Second order linear equations. Cauchy and Sturm-Liouville problems. Differential operators in Hilbert spaces. Equations in complex space. Power series method. Fourier and Laplace transforms: Discrete and integral transforms. Multidimensional cases. Special functions of physical science: Gamma, Digamma, Polygamma, Beta and Zeta functions. Hypergeometric, confluent hypergeometric, Bessel functions. Legendre functions and spherical harmonics. Orthogonal polynomials. Partial differential equations: Classification, physical motivation and notable examples. Separation of variables and integral transform methods. Boundary value problems.

### **METODI MATEMATICI PER LA FISICA**

*Complementi di teoria di analisi complessa: Funzioni analitiche e polidrome. Integrali complessi. Espansioni in poli di funzioni meromorfe. Prodotti infiniti. Invertibilità locale e reciproco di funzioni analitiche.*

*Espansioni Asintotiche: Integrazione per parti. Metodo di Laplace e lemma di Watson. Formula di Stirling. Fenomeno di Stokes e prolungamento analitico. Metodo della fase stazionaria, dello steepest descent e del punto di sella.*

*Equazioni differenziali ordinarie: richiami di teoria delle distribuzioni. Funzioni di Green. Equazioni lineari del secondo ordine: problemi di Cauchy e di Sturm-Liouville. Operatori differenziali in spazi di Hilbert. Equazioni in campo complesso. Soluzione per serie.*

*Trasformate di Laplace e Fourier: Trasformate integrali e discrete. Casi multidimensionali.*



*Funzioni speciali della fisica: Funzioni Gamma, Digamma, Polygamma, Beta e Zeta. Funzioni ipergeometrica, ipergeometrica confluyente, di Bessel. Funzioni di Legendre e armoniche sferiche. Polinomi ortogonali. Equazioni differenziali alle derivate parziali: classificazione, motivazione fisica ed esempi. Metodo della separazione delle variabili e delle trasformate integrali. Problemi ai valori al contorno.*

Testi consigliati

M. Petrini, G. Pradisi, A. Zaffaroni, "A Guide to Mathematical Methods for Physicists: Advanced Topics", World Scientific, 2018

\*\*\*\*\*

**MECCANICA QUANTISTICA 2 (9 Cfu)**

*Prof. Salvio Alberto – prof. Nazario Tantalò (codocenza)*

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 (6 Cfu)**

*Prof. Mauro Sbragaglia*

Richiede il superamento di Meccanica Quantistica.

Spazio delle fasi, teorema di Liouville. Ensemble microcanonico. Paradosso di Gibbs. Ensemble canonico. Ensemble gran-canonico: gas di fotoni e formula di Planck. Condensazione di Bose-Einstein. Gas di fermioni: degenerazioni di Fermi-Dirac. Applicazioni: gas di elettroni in un metallo, vibrazioni dei reticoli cristallini e fononi, calori specifici dei solidi.

**STATISTICAL MECHANICS**

*Phase space, Liouville theorem, microcanonical ensemble, Gibbs paradox, Canonical ensemble, Grand-canonical ensemble. Planck formula. Bose-Einstein condensation. Fermi gas. Fermi-Dirac statistics. Applications: electron gas. Phonons. Specific heat of solids.*

Testi consigliati:

*L.D. Landau, Fisica Statistica*

*Pathria, Statistical Mechanics*

*K.Huang, Statistical Mechanics*

\*\*\*\*\*

**MECCANICA STATISTICA 2 (6 Cfu)**Prof.<sup>ssa</sup> Rossana Marra

Introduzione alle transizioni di fase. Modello di Ising. Argomento di Peierls. Teoria di campo medio per il modello di Ising. Trasformazione di dualità. 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 2**

*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, Dott. Marco Guagnelli (codocenza)

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  $l_2$ , 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  $l_2$ , 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)**Prof.<sup>ssa</sup> Rita Bernabei, Prof. Vincenzo Caracciolo (codocenza)

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

*Introduction to Nanoscale Science and Technology* Ed by M. Di Ventra, S. Evoy, J.R. Hefflin Cap 1, Cap. 2, Cap. 4-6 Cap. 12

*Grosso and Pastori Parravicini "Solid State Physics", Cap 2*

*Microscopia SPM Dawn Bonnell: Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy: Theory, Techniques and Application* Cap 2 tutto, Cap 3 tutto, Cap 4 tutto 3.

*Microscopia STM C. J. Chen: 'Introduction to Scanning Tunneling Microscopy': Cap. 1 tutto,*

*Microscopia SPM Hamers, Ann. Phys Chem 1989 vol 40, pag 531 "Atomic Resolution Surface Spectroscopy with the Scanning Tunneling Microscope"*

*Microscopia Elettronica: Weile Zhou & Zhong Lin Wang "Scanning Microscopy for Nanotechnology Techniques and Applications", Springer*

*G. Ertl, J. Küppers, "Low Energy Electrons and Surface Chemistry", VCH, Weinheim (1985).*

*D. Briggs and M. Seah "Practical surface analysis" Wiley, Chichester (1993)*

\*\*\*\*\*

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

Prof. Arturo Moleti

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.*

\*\*\*\*\*

### **MODER ASTROPHYSICS (6 cfu)**

*Prof. Giuseppe Bono*

#### 1 Introduction

- 1.1 Stellar parallaxes and astrometry
- 1.2 Magnitude scales and color indices
- 1.3 Emission and absorption lines
- 1.4 Cosmic abundances and solar mixture
- 2 Solar System and Extrasolar planets
  - 2.1 Terrestrial and Giant planets
  - 2.2 Minor bodies of the solar system
  - 2.3 Identification and characterization of extrasolar planets
  - 2.4 Planetary system formation and evolution
- 3 Stellar Atmospheres
  - 3.1 Spectral classification and Hertzsprung Russell diagram
  - 3.2 Equation of state
  - 3.3 Stellar opacities
  - 3.4 Radiative transfer
- 4 Stellar interiors
  - 4.1 Momentum and mass conservation equations
  - 4.2 Energy conservation equation
  - 4.3 Energy transport equations
  - 4.4 The sun as a star
  - 4.5 Main sequence and post main sequence evolution
  - 4.6 Stellar pulsation
  - 4.7 Compact objects: white dwarfs and neutron stars
- 5 The Milky Way
  - 5.1 Stellar populations
  - 5.2 Stellar systems
  - 5.3 Galactic spheroid: Halo, Bulge, Disk
  - 5.4 Galactic center
- 6 The Nature of Galaxies
  - 6.1 Hubble sequence
  - 6.2 Spirals, irregulars and ellipticals
  - 6.3 Dwarf galaxies
  - 6.4 Formation and interaction of galaxies
  - 6.5 Cluster of galaxies
  - 6.6 The extragalactic distance scale
  - 6.7 The expansion of the Universe
- 7 Cosmology

- 7.1 Newtonian cosmology
- 7.2 The cosmic microwave background
- 7.3 The Sunyaev Zeldovich effect
- 7.4 Observational cosmology
- 7.5 The very early Universe
- 7.6 Big Bang nucleosynthesis
- 7.7 Origin of structures

## **ASTROFISICA MODERNA**

### *1. Introduzione*

#### *1.1 parallasse e astrometrici stellari*

#### *1.2 Bilance di grandezza e indici a colori*

#### *1.3 Linee di emissione e assorbimento*

#### *1.4 Abbondanze cosmiche e miscela solare*

### *2 sistema solare e pianeti extrasolari*

#### *2.1 Pianeti terrestri e giganti*

#### *2.2 Corpi minori del sistema solare*

#### *2.3 Identificazione e caratterizzazione dei pianeti extrasolari*

#### *2.4 Formazione e evoluzione del sistema planetario*

### *3 atmosfere stellari.*

#### *3.1 Classificazione spettrale e diagramma di Hertzsprung Russell*

#### *3.2 Equazione di stato*

### *3.3 OPACITÀ STALLARI*

#### *3.4 Trasferimento radiativo*

### *4 interni stellari*

#### *4.1 Equazioni di conservazione del momento e di conservazione di massa*

#### *4.2 Equazione di conservazione dell'energia*

#### *4.3 Equazioni di trasporto energetico*

#### *4.4 Il sole come una stella*

#### *4.5 Main Sequence and Post Main Sequence Evolution*

#### *4.6 Pulsatura stellare.*

#### *4.7 Oggetti compatti: nani bianchi e stelle del neutrone*

### *5 La Via Lattea*

#### *5.1 Popolazioni stellari*

#### *5.2 Sistemi stellari*

#### *5.3 sferoidi galattici: alone, rigonfiamento, disco*

#### *5.4 Centro galattico 6 La natura delle galassie*

#### *6.1 Sequenza di Hubble.*

#### *6.2 Spirali, irregolari e ellittici*

#### *6.3 Galassie nane*

#### *6.4 Formazione e interazione delle galassie*

#### *6.5 cluster di galassie*

#### *6.6 La scala della distanza extragalattica*

#### *6.7 L'espansione dell'universo*

### *7 Cosmologia*

#### *7.1 Cosmologia newtoniana*

#### *7.2 Lo sfondo del microonde cosmico*

#### *7.3 L'effetto Sunyaev Zeldovich*

#### *7.4 Cosmologia osservazionale*

#### *7.5 L'universo molto precoce*

#### *7.6 Big Bang Nucleosintesi*

#### *7.7 Origine delle strutture*

### Testi consigliati



Introduction to Modern Astrophysics, B.W. Carroll, D.A. Ostlie, Addison Wesley

\*\*\*\*\*

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

*TBD, Dott. Antonino Pietropaolo (codocenza)*

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.*

\*\*\*\*\*

### **NUMERICAL METHODS FOR ASTROPHYSICS (6 Cfu)**

*Prof. Hervé Bourdin*

This course in numerical analysis covers a wide range of methods and applications in physics and astrophysics. The first lectures deal with introductory data analysis problems, such as function approximation, numerical calculus, fitting and exact or approximate solutions of linear and non-linear systems of equations. Part of the course is devoted to the theory and application of the Fourier Transform. Considerable time is spent in the numerical solutions of ordinary differential equations, and their applications. Lectures on Finite Element methods and MonteCarlo simulations. The course is accompanied with laboratory work. In the labs the students learn to program in Python and they write their own routines to solve problems related to the theoretical part of the course.

### **METODI NUMERICI PER L'ASTROFISICA**

*Questo corso in analisi numerica copre una vasta gamma di metodi e applicazioni in fisica e astrofisica. Le prime lezioni riguardano i problemi introduttivi di analisi dei dati, come approssimazione della funzione, calcolo numerico, soluzioni di montaggio e esatte o approssimative di sistemi lineari e non lineari di equazioni. Parte del corso è dedicato alla teoria e all'applicazione della trasformata di Fourier. Il tempo considerevole viene speso nelle soluzioni numeriche di equazioni differenziali ordinarie e le loro applicazioni. Conferenze su metodi elementi finiti e simulazioni montecarlo. Il corso è accompagnato da lavori di laboratorio. Nei laboratori gli studenti imparano a programmare in Python e scrivono le*

proprie routine per risolvere i problemi relativi alla parte teorica del corso

### Testi Consigliati

M. Wood - *Numerical Techniques in Astrophysics*  
T. Pang - *An introduction to Computational Physics*  
Lecture Notes

\*\*\*\*\*

## **OCEANOGRAFIA FISICA (6 Cfu)**

*Dott. Federico Falcini*

- 1) Elementi fondamentali caratterizzanti l'oceano da un punto di vista fisico e chimico: distribuzioni dei parametri idrologici lungo la colonna d'acqua oceanica; comportamento dell'acqua di mare in diverse condizioni di temperatura e pressione (espansione termica, congelamento, compressibilità, variazione adiabatica di temperatura, calore specifico, conducibilità termica). Strumenti per caratterizzare le acque oceaniche (e.g. diagramma di temperatura e salinità); stabilità ed instabilità della colonna d'acqua (frequenza di Brunt-Vaisala, shear instability).
- 2) Elementi di teoria della circolazione oceanica: studio e analisi delle principali forze che regolano la circolazione oceanica (il ruolo del wind stress e della densità); teoria dell'interazione aria-mare; correnti di Ekman. Generazione di correnti geostrofiche; ruolo della stratificazione: compensazione baroclina, correnti relative e loro calcolo da dati idrologici. Vortici geostrofici barotropici e baroclini; il bilancio di Sverdrup, intensificazione occidentale, cenni sui modelli di Stommel e di Munk.
- 3) Introduzione alla variabilità oceanica ed il suo impatto sul sistema climatico terrestre: onde di Rossby barotropiche e barocliniche; onde topografiche e onde di Kelvin: derivazione della relazione di dispersione, in fluidi omogenei e stratificati; ruolo dell'oceano nella variabilità del sistema climatico, principali indicatori della variabilità oceanica e climatica (e.g. Artic Oscillation (AO), ENSO (El Nino Southern Oscillation), AMO (Atlantic Meridional Oscillation), QBO (Quasi-Biennial-Oscillation)).
- 4) Modellistica analitica e numerica oceanografica: modelli semplificati ed analitici (e.g. modello di Stommel), circolazione termohalina, stati multipli di equilibrio; diagramma di isteresi e di biforcazione; modelli di circolazione oceanici tridimensionali; parametrizzazione delle piccole scale (modelli di chiusura della turbolenza) esempi di implementazione di un modello numerico dell'oceano (e.g. modello del Mar Mediterraneo).

## **OCEANOGRAPHY PHYSICS**

- 1) *Fundamental elements characterizing the ocean from a physical and chemical point of view: distribution of hydrological parameters along the oceanic water column; Seawater behavior under different temperature and pressure conditions (thermal expansion, freezing, compressibility, variation of the adiabatic temperature, specific heat, thermal conductivity). Tools to characterize the oceanic waters (e.g., temperature and salinity diagram); stability and instability of the water column (frequency of Brunt-Vaisala, shear instability).*
- 2) *Elements of ocean circulation theory: study and analysis of the main forces that drive the ocean circulation (the role of the wind stress and density); air-sea interaction theory; Ekman currents. Generation of geostrophic currents; role of stratification: Baroclinic compensation, their current and their calculation of hydrological data. Barotropic and baroclinic Vortices; the Sverdrup balance, western intensification, some elements on the Stommel and Munk models.*
- 3) *Introduction to the oceanic variability and its impact on Earth's climate system: barotropic and baroclinic Rossby waves; topographic waves and Kelvin waves: derivation of the dispersion relation, in homogeneous and stratified fluids; ocean's role in the variability of the climate system, the main indicators of the oceanic and climate variability (e.g., Arctic Oscillation (AO), ENSO (El Nino Southern Oscillation), AMO (Atlantic Meridional Oscillation)).*
- 4) *analytical and numerical oceanographic modeling: simplified and analytical models (e.g., Stommel model), thermohaline circulation, multiple states of equilibrium; hysteresis and bifurcation diagram; Three-dimensional models of ocean circulation; parameterization of small scale (of the turbulence closure models) implementation of some examples of a numerical ocean model (e.g. the Mediterranean model).*

### Testi consigliati

- 1) L.D. Talley, G.L. Pickard, W.J. Emery, J.H. Swift. Elsevier. *Descriptive Physical Oceanography: An Introduction*



; VI Edition, 2011;

2) Vallis, G. K., *Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics*. Cambridge University Press, 2006, 745 pp. ;

3) J. Pedlosky. *Ocean Circulation Theory*, Springer, 1996;

4) A. Gill. *Atmosphere-Ocean Dynamics*, Academic Press, 1982;

5) S.A. Thorpe. *The Turbulent Ocean*, Cambridge, 2005.

\*\*\*\*\*

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

Prof. Roberto Benzi, Prof. Giulio Cimini (codocenza)

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

### **OTTIMIZZAZIONE E MECCANICA STATISTICA**

Revisione delle proprietà di base della meccanica statistica. Secondo transizione di fase di ordine e introduzione sulla simulazione di algoritmo analisi. Algoritmo genetico.

\*\*\*\*\*

### **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)**

Prof. 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.*

\*\*\*\*\*

### **PLANETARY SCIENCES AND SPACE MISSION (6 Cfu)**

*Dott. Fabrizio Capaccioni, Codocenza Dott. Alessandro Mura*

The solar-system, Planet interiors and surfaces, Atmospheres and magnetospheres, Planetary formation, Planetary environments and organic compounds, Planetary Missions

### **SCIENZE PLANETARIE E MISSIONI SPAZIALI**

*Il sistema solare, gli interni del pianeta e le superfici, le atmosfere e le magnetefere, la formazione planetaria, gli ambienti planetari e i composti organici, le missioni planetarie*

#### Testi consigliati

*Lecture Notes*

\*\*\*\*\*

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

*Prof. Pasquale Mazzotta*

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**

*Fondamenti di trasferimento radiativo. Radiazione termica. I coefficienti di Einstein. Teoria di base dei campi di radiazione. Radiazione dalle accuse in movimento. Potenziale di Lienard Wienary. Thomson Scattering. Covarianza e cinematica relativistica. Bremsstrahlung. Radiazione di sincrotrone. Scattering di Compton. Effetto Sunyar-Zeldovich.*

#### Testi consigliati

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

\*\*\*\*\*

### **RADIOATTIVITÀ (6 Cfu)**

*Dott. Riccardo Cerulli*

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: emulsione 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 stele 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. Emivalente 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; Cberenkov 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. Sbiielding 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)*

*Bendisoliol 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 (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**

*Il principio di equivalenza. Campo gravitazionale debole. Movimento geodetico. Interpretazione fisica del tensor metrico. Arrassamento di linee spettrali. Forze inerziali. Tensori. Derivati covariani. Il tensore Riemann-Christoroffel. Equazione del campo nel vuoto. Il tensore dell'importanza energetica. Equazioni del campo in presenza della materia. Leggi di conservazione. La soluzione Schwarzschild: coordinate isotropiche; movimento planetario; Deflessione della luce. L'espansione di Hubble. La radiazione del fondo del microonde cosmico. La metrica di Friedmann-Robertson-Walker.*

*Nucleosintesi primordiale. Il problema della distanza in cosmologia. Il modello standard in cosmologia e scenari inflazionistici.*

Testi consigliati

Vittorio, *Cosmology*, CRC Press

\*\*\*\*\*

**SPACE SCIENCE (6 Cfu)**

Prof. Dario Del Moro

Space mission design

- Orbital mechanics
  - Launch vehicles and propulsion
  - Physics of the Earth's space environment
  - Space history and policies
  - Space life sciences and human factors
- Spacecraft payload instrumentation
- Earth remote sensing
  - Planetary exploration
  - Space telescopes and observatories

**SCIENZA DELLO SPAZIO**

*Design della missione spaziale.*

- *Meccanica orbitale*
  - *lanciare veicoli e propulsione*
  - *Fisica dell'ambiente spaziale terrestre*
  - *Storia dello spazio e politiche*
  - *Scienze della vita spaziale e fattori umani*
- Strumentazione payload del veicolo spaziale.*
- *Sentenze remota della terra*
  - *Esplorazione planetaria*
  - *Telescopi spaziali e osservatori*

Testi consigliati

- *Bate, Mueller & White, Fundamentals of Astrodynamics, Dover*
- *Prolls, Physics of the Earth's Space Environment: An Introduction, Springer*
- *Lecture Notes*

\*\*\*\*\*

**SPACE WEATHER (6 Cfu)**

Prof. Francesco Berrilli

Fundamentals of the Sun: Nuclear fusion In the solar core; Photon diffusion in the Sun; Solar Spectrum and 3D atmosphere; Basics of radiative transfer and line formation; solar emission/absorption lines.

The active Sun and solar storms: Turbulent Convection; Stellar global dynamo and solar activity, The photosphere-chromosphere-Corona connection, MHD instabilities and Space Weather drivers (flares, Coronal Mass Ejection, Solar Particle Events), Superflares, Solar modulation of Galactic Cosmic Rays and Solar Potential; Cosmogenic isotopes (Be10 & C14) and solar activity.

Sun-Earth Connection: Solar Total and Spectral Irradiance variability, Solar Energy and its interaction with Earth's atmosphere; Sun and Earth's climate; Grand Minima and Maxima, Maunder Minimum, Milankovitch cycles and Earth's orbit.



Space Weather: Effects on Technology Infrastructure; The impact of space radiation environment on Satellites; Drag effect; Solar proxies (SSN, Mg II, Ca K, F10.7, etc.); SWE forecasting algorithms. Ground-based and Space Instrumentation for Space Weather: Solar telescopes basics; Spectral Imagers; Synoptic telescopes; Heliophysics satellites; Small and nano (Cube Sat) satellite mission concepts for heliophysics and Space Weather Research.

### **METEOROLOGIA SPAZIALE (6 Cfu)**

*Fondamenti di Fisica Solare: Fusione nucleare nel nucleo; Diffusione di fotoni nell'interno solare; Spettro solare e atmosfera 3D; Cenni di trasferimento radiativo e formazione di righe; righe di emissione/assorbimento nello spettro solare. Il Sole attivo e le tempeste solari: Convezione turbolenta; Dinamo globale stellare e attività solare; connessione fotosfera-cromosfera-corona; instabilità MHD e driver di eventi Space Weather (brillamenti, espulsioni di massa coronale, eventi di particelle solari); superflare; modulazione solare dei raggi cosmici galattici e potenziale solare; Isotopi cosmogenici (Be10 e C14) e attività solare.*

*Collegamento Sole-Terra: variabilità dell'irraggiamento solare totale e spettrale, energia solare e sua interazione con l'atmosfera terrestre; Il clima del Sole e della Terra; Grand Minima e Maxima, Maunder Minimum, cicli di Milankovitch e orbita terrestre.*

*Meteorologia spaziale: effetti sull'infrastruttura tecnologica; L'impatto dell'ambiente di radiazione spaziale sui satelliti; Effetto di trascinamento; Proxy solari (SSN, MgII, Ca K, F10.7, ecc.); Algoritmi di previsione SWE.*

*Strumentazione da Terra e spaziale per lo Space Weather: nozioni di base sui telescopi solari; Imager spettrali; Telescopi sinottici; satelliti eliofisici; Concetti di base di missioni di piccoli e nano satelliti (CubeSat) per l'eliofisica e la ricerca nello Space Weather.*

#### Testi consigliati

Lecture Notes

*The Sun: an introduction – M. Stix*

*Workshop Report on Space Weather Risks and Society - download at:*

*<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20140004898/downloads/20140004898.pdf>*

\*\*\*\*\*

### **STATISTICAL DATA ANALYSIS (6 Cfu)**

*Prof. Umberto De Sanctis*

The course is made of 4 modules. The first module will give an overview of the basic concepts in statistical methods for experimental physics; the second will introduce the C++ programming language and the ROOT framework while the other two modules will be devoted to a more practical part with specific exercises in some of the most relevant problems in high-energy physics data analysis.

Module 1: Statistical data analysis (Dr. Umberto De Sanctis)

Length: 20h lectures

- Basic concepts in probability (frequentist and bayesian approaches, properties of distributions, characteristic functions)
- Probability Distribution Functions and their properties (law of large numbers, central limit theorem, convergence, discrete and continuous distributions)
- Theory of the information (likelihood, Fisher information)
- Decision and estimators theory (Maximum Likelihood principle, Least-Squares method, bayesian inference)
- Point Estimation (parameter estimation with uncertainties, bias estimation)
- Interval estimation (confidence and credible intervals, upper/lower limits, asymptotic approximation)
- Test of hypotheses (Neyman-Pearson test, likelihood ratio test)
- Goodness of fit assessment (Pearson chi-square test, tests for unbinned distributions)

Module 2: basics of c++ and ROOT (Dr. Vincenzo Vitale)

Length. 12h (8h lessons + 4h exercises)

1) The basics of C++. Functions, types, scope, pointer, arrays, tests;

- 2) User-Defined Types. Structures, classes, other types;
- 3) Modularity. Separate compiling, namespaces, error handling;
- 4) Classes. Concrete types, abstract types, virtual functions, class hierarchies, copy and move;
- 5) The ROOT software toolkit. The basics, the most frequently used classes;
- 6) An example of ROOT code for data analysis. Histograms, random filling, fitting, storage on disk;

Module 3 : template fits and systematic uncertainties treatment (Dr. Marco Vanadia)

Length: 12h (2h lessons + 10h exercise)

Lecture: recap on the basics of Binned Maximum Likelihood template fits and on Asimov datasets, introduction to the software for the analysis, treatment of systematic uncertainties and typical use cases for analysis.

Exercise: the exercise has the goal to make students learning the following techniques:

1. Implementation of histogram production, stat-only ML fits to Asimov data, first implementation of systematic uncertainties in the fit.
2. Detailed test of systematic uncertainties model for the analysis and on the assumptions for the uncertainties correlation modelling.
3. Fit to data, extraction of the physics parameter, evaluation of constraints to systematic uncertainties in data.

Module 4 : Unfolding techniques in high energy physics (Dr. Valerio Formato)

Length: 12h (2h lecture + 10h exercise)

Lecture: intro to unfolding and what problems it tries to solve. Overview of different unfolding methods: bin-to-bin correction, SVD-regularised unfolding, bayesian unfolding, iterative bin-to-bin and forward folding.

Exercise: students will implement one or more of these techniques (depending on available time) and apply them on different datasets/resolution functions.

### **ANALISI STATISTICA DATI**

Il corso è composto da 4 moduli. Il primo modulo fornirà una panoramica dei concetti di base nei metodi statistici per la fisica sperimentale; il secondo introdurrà il linguaggio di programmazione C++ e il framework ROOT, mentre gli altri due moduli saranno dedicati a una parte più pratica con esercizi specifici concernenti alcuni dei problemi più rilevanti nell'analisi dei dati di fisica delle alte energie.

Modulo 1: Analisi statistica dei dati (Dr. Umberto De Sanctis)

Durata: 20h lezioni frontali

- Concetti di base in probabilità (approcci frequentisti e bayesiani, proprietà delle distribuzioni, funzioni caratteristiche)
- Funzioni di distribuzione di probabilità e loro proprietà (legge dei grandi numeri, teorema del limite centrale, convergenza, distribuzioni discrete e continue)
- Teoria dell'informazione (funzione di verosimiglianza, informazioni di Fisher)
- Teoria degli stimatori (principio di massima verosimiglianza, metodo dei quadrati più piccoli, inferenza bayesiana)
- Stimatori puntuali (stima dei parametri con incertezze, stima del bias)
- Stimatori di intervalli (intervalli di confidenza e di credibilità, limiti superiori/inferiori, approssimazione asintotica)
- Test di ipotesi (test di Neyman-Pearson, test basato su rapporti di likelihoods)
- Goodness-of-fit (test del chi quadrato di Pearson, test per distribuzioni non binnate)

#### Bibliografia:

- F. James, "Statistical methods in experimental physics" 2a edizione, World Scientific, 2006
- G. Cowan, "Statistical data analysis" Oxford Science Publications, 1998

Modulo 2: nozioni di base su c++ e ROOT (Dr. Vincenzo Vitale)

Lunghezza. 12h (8h lezioni + esercizi 4h)



Questo modulo ha lo scopo di fornire:

- una conoscenza di base del linguaggio di programmazione C++ e del toolkit di analisi dei dati ROOT;
- la capacità di eseguire operazioni quali l'I/O dei dati e l'elaborazione computazionale, che sono alla base dell'analisi scientifica dei dati;
- la capacità di integrare le classi ROOT all'interno di codici di analisi personalizzati.

Gli argomenti trattati all'interno del modulo sono:

- 1) Le basi di C++. Funzioni, tipi, ambito, puntatore, matrici, test;
- 2) Tipi definiti dall'utente. Strutture, classi, altri tipi;
- 3) Modularità. Compilazione separata, spazi dei nomi, gestione degli errori;
- 4) Classi. Tipi concreti, tipi astratti, funzioni virtuali, gerarchie di classe, copia e spostamento;
- 5) Il toolkit del software ROOT. Le basi, le classi più usate;
- 6) Un esempio di codice ROOT per l'analisi dei dati. Istogrammi, riempimento casuale, fit, archiviazione su disco;

#### Bibliografia:

"Un tour di C++", Bjarne Stroustrup, Addison-Wesley

"C++ guida essenziale per il programmatore", Bjarne Stroustrup, Pearson Italia (è la versione tradotta del libro sopra)

Documentazione ROOT all'<https://root.cern.ch/>

Modulo 3 : modelli e trattamento sistematico delle incertezze (Dr. Marco Vanadia)

Lunghezza: 12h (2h lezioni + 10h esercizio)

Gli studenti eseguiranno un esercizio sulla misurazione di un parametro fisico tramite un modello di binned maximum likelihood fit, con particolare attenzione all'impatto delle incertezze sistematiche sulla misurazione e sulla modellizzazione delle loro correlazioni

Lezione: riepilogo delle basi del modello Binned Maximum Likelihood template fit su dati di Asimov, introduzione al software per l'analisi, trattamento delle incertezze sistematiche e casi d'uso tipici per l'analisi.

Esercizio: l'esercizio ha l'obiettivo di far apprendere agli studenti le seguenti tecniche:

1. Implementazione della produzione di istogrammi, Maximum Likelihood fit con errori statistici su dati di Asimov, prima implementazione di incertezze sistematiche nel fit.
2. Test dettagliato del modello di incertezze sistematiche per l'analisi e sulle ipotesi per la modellizzazione della correlazione delle incertezze.
3. Fit ai dati, estrazione del parametro fisico, valutazione dei vincoli alle incertezze sistematiche nei dati.

Modulo 4 : Tecniche di unfolding in fisica delle alte energie (Dr. Valerio Formato)

Lunghezza: 12h (2h lezione + 10h esercizio)

In questo modulo verranno studiati gli effetti introdotti dalla risoluzione strumentale sulla misurazione di distribuzioni. Gli studenti applicheranno diverse tecniche statistiche per recuperare la distribuzione vera e confronteranno i risultati ottenuti con queste tecniche e/o con diverse regolarizzazioni.

Lezione: introduzione all'unfolding e ai problemi che esso cerca di risolvere. Panoramica dei diversi metodi di unfolding: correzione bin-to-bin, unfolding con regolarizzazione di tipo SVD, unfolding bayesiano, unfolding bin-to-bin iterativo e forward folding.

Esercizio: gli studenti implementeranno una o più di queste tecniche (a seconda del tempo disponibile) e le applicheranno a diversi set di dati / funzioni di risoluzione.

\*\*\*\*\*

## **STELLAR STRUCTURE AND EVOLUTION (6 Cfu)**

*Prof. Giuseppe Bono*

1. Stellar Structures: empirical scenario
  - 1.1 Galactic spheroid
  - 1.2 Stellar Populations
  - 1.3 Stellar systems

- 1.4 Metallicity distributions
- 1.5 Kinematic properties
- 2. Stellar Structures: theoretical framework
  - 2.1 Momentum conservation
  - 2.2 Mass conservation
  - 2.3 Radiative and conductive transport equations
  - 2.4 convective transport equation: Schwarzschild and Ledoux criteria
  - 2.5 Mixing length theory
  - 2.6 Energy Conservation
  - 2.7 Stellar envelopes and atmospheres
- 3. Physical conditions in stellar interiors
  - 3.1 Equation of state
  - 3.2 Radiative and molecular opacities
  - 3.3 Energy generation
  - 3.4 Nuclear reactions
- 4. Solutions of the equations for stellar interiors
  - 4.1 Analytical solutions
  - 4.2 Virial theorem and electron degeneracy
  - 4.3 Initial conditions and boundary conditions
  - 4.4 Saha equation and evolution of chemical elements
- 5. Star formation
  - 5.1 Jeans mass and star formation
  - 5.2 Strutture stellari completamente convettive: Hayashi track
  - 5.3 Approach to the central hydrogen burning phase
- 6. Hydrogen burning phases
  - 6.1 The p-p chain
  - 6.2 The bi-cycle CN-NO
  - 6.3 The Main Sequence (MS) in low-, intermediate- and massive stars
  - 6.4 Standard solar model
  - 6.5 The Mass-Luminosity relation
  - 6.6 The Schönberg-Chandrasekhar limit
  - 6.7 The sub giant branch and the red giant branch (RGB)
  - 6.8 The RGB bump
  - 6.9 The Tip of the RGB and the central Helium flash
- 7. Helium burning phases
  - 7.1 Nuclear reactions
  - 7.2 The Zero Age Horizontal Branch (ZAHB)
  - 7.3 Central Helium burning phase in low-, intermediate- and massive stars
- 8. Advanced evolutionary phases
  - 8.1 Asymptotic giant Branch (AGB)
  - 8.2 Chandrasekhar limit
  - 8.3 Carbon/Oxygen and helium core white dwarfs
  - 8.4 Advanced evolutionary phases in massive stars: Supernovae
- 9. Stellar observables of cosmological interest
  - 9.1 Primordial helium content
  - 9.2 Absolute and relative ages of globular clusters
  - 9.3 The Cepheid instability strip
  - 9.3 Primary and secondary distance indicators
  - 9.4 The Hubble constant

## **STRUTTURA ED EVOLUZIONE STELLARE**

### *1. Strutture stellari: scenario empirico*

#### *1.1 sferoidi galattici*

#### *1.2 Popolazioni stellari*

- 1.3 Sistemi stellari
- 1.4 distribuzioni della metallizzazione
- 1.5 Proprietà cinematiche
- 2. Strutture stellari: quadro teorico
  - 2.1 Conservazione del momento
  - 2.2 Conservazione di massa
  - 2.3 Equazioni di trasporto radiative e conduttive
  - 2.4 Equazione convettivo Trasport: criterio Schwarzschild e Ledoux
  - 2.5 Teoria della lunghezza della miscelazione
  - 2.6 Conservazione dell'energia
  - 2.7 Buste e atmosfere stellari
- 3. Condizioni fisiche negli interni stellari
  - 3.1 Equazione di stato
  - 3.2 Opacità radiative e molecolari
  - 3.3 Generazione di energia
  - 3.4 Reazioni nucleari
- 4. Soluzioni delle equazioni per gli interni stellari
  - 4.1 Soluzioni analitiche
  - 4.2 Teorema virale e degenerazione di elettroni
  - 4.3 Condizioni iniziali e condizioni del contorno
  - 4.4 Equazione saba ed evoluzione degli elementi chimici
- 5. Formazione stella
  - 5.1 Jeans Messa e formazione a stella
  - 5.2 Strutture Stellari Completamente Convettive: Hayashi Track
  - 5.3 Approcci alla fase di masterizzazione dell'idrogeno centrale
- 6. Fasi di combustione di idrogeno
  - 6.1 La catena P-P
  - 6.2 Il *cn-no* bi-ciclo
  - 6.3 La sequenza principale (MS) nelle stelle basse, intermedie e massicce
  - 6.4 Modello solare standard
  - 6.5 La relazione di luminosità di massa
  - 6.6 Il limite di Schoönberg-Chandrasekhar
  - 6.7 Il ramo subgigante e il ramo gigante rosso (RGB)
  - 6.8 The RGB Bump
  - 6.9 La punta del RGB e il flash di elio centrale
- 7. Fasi di Burning Elio
  - 7.1 Reazioni nucleari
  - 7.2 The Zero Age Horizontal Branch (ZAHB)
  - 7.3 Fase di combustione di elio centrale in stelle basse, intermedie e massicce
- 8. Fasi evolutive anticipate
  - 8.1 ramo gigante asintotico (AGB)
  - 8.2 Limite di Chandrasekhar.
  - 8.3 Nani bianchi del nucleo di carbonio / ossigeno ed ossigeno
  - 8.4 Fasi evolutive avvisali in stelle massicce: supernovae
- 9. Osservabili stellari di interesse cosmologico
  - 9.1 Contenuto dell'elio primordiale
  - 9.2 Età assoluta e relativa dei cluster globulari
  - 9.3 La striscia di instabilità del cepheid
  - 9.3 Indicatori di distanza primaria e secondaria
  - 9.4 La costante di Hubble

Testi consigliati

*Evolution of Stars and Stellar Populations* by Salaris & Cassisi  
*Old Stellar Populations* by S. Cassisi & M. Salaris, Wiley-VCH

*Stellar Interiors, by C.J. Hansen, S.D. Kawaler & V. Trimble, Springer*

\*\*\*\*\*

## **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*

\*\*\*\*\*

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

*Prof.ssa Maurizia Palummo*

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 stated.*
        - 8.6.2.1.2. *Example: linear chain, fcc s states and p states, graphene only pz, 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"*

\*\*\*\*\*

**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 supersymmetries 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 E TECNICHE COMPUTAZIONALI PER LA FISICA BIOLOGICA (6 Cfu)**

Prof.<sup>ssa</sup> *Velia Minicozzi*

### **1) RICHIAMI DI MECCANICA STATISTICA**

La nozione di ensemble: ensemble micro-canonico canonico e gran-canonico. Equivalenza tra ensembles. Il teorema di equipartizione dell'energia. Potenziali chimici. Il metodo della Massima Entropia.

### **2) LA DINAMICA MOLECOLARE CLASSICA**

Discretizzazione delle equazioni di Hamilton-Jacobi. Operatore di evoluzione temporale di Liouville. La dinamica molecolare come trasformazione canonica. Multiple-Time-Step. Metodo sistolico e metodo della lista.

### **3) METODI STOCASTICI PER IL CALCOLO DELLA FUNZIONE DI PARTIZIONE**

Il metodo Monte Carlo. Catene di Markov, principio del bilancio dettagliato, algoritmo di Metropolis. Monte Carlo ibrido. Moto Browniano ed equazione di Langevin. Equazione di Fokker-Planck, soluzione asintotica.

### **4) SISTEMI FERMIONICI IN FISICA DELLA MATERIA**

L'approssimazione di Born-Oppenheimer. Il modello di Thomas-Fermi. L'approssimazione di Hartree-Fock. Simulazioni ab initio: la teoria del funzionale densità. Il metodo di Car-Parrinello.

### **5) APPLICAZIONI ALLE BIOMOLECOLE**

Introduzione al modelling di biomolecole. Force-fields empirici: all atoms e coarse grained (Martini). Algoritmi velocity-Verlet e leap-frog. Reversibilità temporale. Algoritmi di minimizzazione dell'energia. Simulazioni negli ensembles NVT and NPT. Somme di Ewald. Funzioni di correlazione e loro calcolo in dinamica molecolare. Coefficiente di diffusione.

### **6) TECNICHE DI PROGRAMMAZIONE SU PIATTAFORME PARALLELE**

Struttura dei codici per la dinamica molecolare di biomolecole. Programmazione ad agenti.

## **THEORY AND COMPUTATIONAL METHODS FOR BIOLOGICAL PHYSICS**

### **1) STATISTICAL MECHANICS**

*Definition of ensemble: micro-canonical, canonical and gran-canonical ensemble. Ensemble equivalence. The equipartition theorem. Chemical potentials. The Maximum Entropy Method.*

### **2) CLASSICAL MOLECULAR DYNAMICS**

*Discretization of the Hamilton-Jacobi equations. The Liouville time evolution operator. Molecular dynamics as a canonical transformation. Multiple-Time-Step. Systolic and list methods.*

### **3) STOCASTIC METHODS FOR THE EVALUATION OF THE PARTITION FUNCTION**

*The Monte Carlo method. Markov chains, the detailed balance principle, the Markov theorem, the Metropolis algorithm. Hybrid Monte Carlo. Brownian motion and the Langevin equation. The Fokker-Planck equation and its asymptotic solution.*

### **4) FERMIONIC SYSTEMS IN CONDENSED MATTER**

*Born-Oppenheimer approximation. The Thomas-Fermi model. Hartree-Fock approximation. Ab initio simulations: the density functional theory. The Car-Parrinello method.*

### **5) APPLICATION TO BIOMOLECULES**

*Introduction to biomolecules modelling. Empirical force-fields: all atoms and coarse grained (Martini). Velocity-Verlet*

and leap-frog algorithms. Time reversibility. Algorithms to minimize energy. Simulations in the NVT and NPT ensembles. Ewald summation. Correlation functions and their computation in molecular dynamics. The diffusion coefficient.

#### 6) PARALLEL PLATFORM PROGRAMMING TOOLS

Code structure for the molecular dynamics OF biomolecules. Agent-oriented programming.

#### Testi consigliati

K. Huang, *Statistical mechanics*. John Wiley & Sons. 1987.

D. Frenkel & B. Smit, *Understanding Molecular Simulations*. Academic Press. 2002.

M.P. Allen & D. J. Tildesley, *Computer Simulations of Liquids*, Oxford University Press. 2017.

\*\*\*\*\*

### **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 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'.