

# Fisica

## **Premessa**

Per le Finalità, gli Obiettivi formativi, le Attività formative e gli Sbocchi professionali si rimanda al Regolamento della Laurea Magistrale in Fisica.

## **Iscrizione e debiti formativi**

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

Potranno accedere direttamente alla Laurea Magistrale in Fisica i laureati in Fisica (classe: L-30-Scienze e tecnologie fisiche) di qualunque università italiana e i laureati in Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia dell'Università di Roma Tor Vergata. Tutte le altre lauree conseguite nella stessa o in altra università saranno valutate dal Consiglio di Dipartimento di Fisica, per stabilire in che modo lo studente può accedere al corso, eventualmente dopo aver integrato il proprio curriculum. A questo scopo è prevista la possibilità di iscrizione a corsi singoli (vedi Decreto Rettorale 28/10/2008 e art. 10/bis del Regolamento Didattico di Ateneo)

## **Percorsi formativi previsti**

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

1. Astrofisica
2. Fisica
3. Physics for Instrumentation and Technology

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

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

1. Elettronica e Cibernetica
2. Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia
3. Fisica dei Biosistemi

4. Struttura della Materia
5. Fisica Nucleare e Subnucleare
6. Fisica Teorica.

Il curriculum “Astrofisica” comprende corsi in **italiano** e in **inglese** ed ha un solo piano di studi.

Il curriculum “Physics for Instrumentation and Technology” è in **inglese** ed è articolato in tre piani di studi:

1. Detectors
2. Radioprotection and Hadrotherapy
3. Innovative Materials

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

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

### **Attività a scelta e stage**

Gli studenti potranno effettuare attività a scelta per 12 Cfu. Nell’ambito di questa 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 l’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 e provvederà alla registrazione dello stage nell'apposito verbale.

Nel caso 1. in cui il docente responsabile dello svolgimento dello stage non afferisca alla Macroarea di Scienze, egli 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 per il riconoscimento dei relativi crediti formativi.

### **Prova Finale**

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

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

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

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

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

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

Alla formazione della media contribuiscono:

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

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

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

### **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 ed il corso "Mathematical Methods for Physics" in **inglese** per Astrofisica e Physics for Instrumentation and Technology
- il corso "Meccanica Quantistica 2" in **italiano** per Fisica ed il corso "Quantum Mechanics" in **inglese** per Astrofisica e Physics for Instrumentation and Technology

### **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  
[A] attività affini e integrative, per un minimo di 12 cfu  
[ASL] attività a scelta libera, per un minimo di 12 cfu

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

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

**Curriculum "ASTROFISICA"****Ordinamento valido per gli immatricolati nell'A.A. 2013/14**

<b>1° Anno</b>		<b>I° semestre</b>	
[C]	Fis/02	Mathematical Methods for Physics	8 cfu
[C]	Fis/02	Quantum Mechanics	8 cfu
[C]	Fis/01	Laboratorio di Astrofisica ( <i>Astrophysics Laboratory</i> )	8 cfu
[AI]	Fis/05	Processi Radiativi in Astrofisica ( <i>Radiative Processes in Astrophysics</i> )	6 cfu
		<b>II° semestre</b>	
[C]	Fis/05	Relatività e Cosmologia I (*) ( <i>Relativity and Cosmology I</i> )	6 cfu
[AI]	Fis/05	Astrofisica Stellare ( <i>Stellar Astrophysics</i> )	6 cfu
[AI]	Fis/05	Astrofisica Extragalattica I ( <i>Extragalactic Astrophysics I</i> )	6 cfu
[ASL]	- - -	Attività a scelta libera (v. nota 2)	6 cfu
<b>2° Anno</b>		<b>I° semestre</b>	
[C]	- - -	Corso a scelta Fis/03 o Fis/04 (v. nota 1)	6 cfu
[AI]	Fis/05	Relatività e Cosmologia 2 ( <i>Relativity and Cosmology 2</i> )	6 cfu
[C]	Fis/01	Fisica della Gravitazione ( <i>Gravitational Physics</i> )	6 cfu
[ASL]	- - -	Attività a scelta libera (v. nota 2)	6 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	4 cfu
		<b>II° semestre</b>	
[- -]	- - -	Tesi	38 cfu

Totale Crediti 120

Gli studenti immatricolati nell'A.A. 2012/13 e negli anni accademici precedenti seguiranno il curriculum previsto al momento della immatricolazione.

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

Nota 1

Questo corso deve avere Settore Scientifico Disciplinare (SSD) FIS/03 o FIS/04. Vengono consigliati i seguenti corsi:

FIS/03 Fisica dei Plasmi

FIS/03 Meccanica Statistica 2

FIS/03 Struttura della Materia 2

FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari I  
FIS/04 Fisica Nucleare  
FIS/04 Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare  
FIS/04 Metodologie Sperimentali per la Ricerca di Processi Rari  
FIS/04 Nuclear Sciences and Applications  
Eventuali altre scelte dello studente verranno valutate dal CdD in Fisica.

Nota 2

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

- FIS/05 Archivi Astronomici (*Astronomical Archives*)
- FIS/05 Astrobiologia (*Astrobiology*)
- FIS/05 Astrofisica delle Alte Energie (*High Energy Astrophysics*)
- FIS/05 Astrofisica Extragalattica 2 (*Extragalactic Astrophysics 2*)
- FIS/05 Fisica delle Astroparticelle
- FIS/05 Fisica Spaziale (*Space Physics*)
- FIS/05 Onde Gravitazionali (*Gravitational Waves*)
- FIS/05 Planetologia (*Planetology*)
- FIS/05 Popolazioni Stellari (*Stellar Populations*)
- FIS/05 Sole e Climatologia Spaziale (*Sun and Space Climate*)

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

I corsi del curriculum Astrofisica fanno anche parte del programma Erasmus Mundus "Astromundus" (<http://www.astromundus.eu>) e sono svolti in Inglese, dove indicato.

\*\*\*\*\*

**Curriculum FISICA**

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

**Piano di Studi “Elettronica e Cibernetica”**

1° Anno	<b>I° semestre</b>		
[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]	- - -	1 esame a scelta da Elenco 2	6 cfu
<hr/>			
	<b>II° semestre</b>		
[C]	Fis/01	Laboratorio di Elettronica	8 cfu
[C]	Fis/04	Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare (*)	6 cfu
[AI]	- - -	1 esame a scelta da Elenco 2	6 cfu
[AI]	Fis/01	Cibernetica	6 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	2 cfu
<hr/>			
2° Anno	<b>I° semestre</b>		
[C]	- - -	1 esame a scelta da Elenco I (Fis/05 o Fis/06)	6 cfu
[AI]	Fis/01	Elettronica I **	6 cfu
[ASL]	- - -	2 esami a scelta libera	12 cfu
[- -]	- - -	Tesi	8 cfu
<hr/>			
	<b>II° semestre</b>		
[- -]	- - -	Tesi	30 cfu
			<i>Totale Crediti 120</i>

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

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

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

**ELENCO I - CFU 6**

FIS/05 Fisica delle Astroparticelle

FIS/05 Relatività e Cosmologia I

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici

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

FIS/01 Elettronica 2

FIS/01 Elettronica Digitale

FIS/01 Fisica Computazionale (8 cfu)

FIS/01 Fisica della Gravitazione (*Gravitational Physics*)

FIS/01 Fenomeni Elettrici nei Gas e Applicazione ai Rivelatori di Ionizzazione [Cfu 4+2 (Lab)] (*Electric Phenomena in Gaseous Media and Application to the Ionization Detectors*)

FIS/01 Laboratorio di Gravitazione

FIS/01 Microelettronica

FIS/01 Modellistica Numerica (8 cfu)

FIS/01 Particle Accelerators for Science and Interdisciplinary Applications

FIS/02 Fisica Teorica I

FIS/02 Metodi Matematici della Fisica 3

FIS/02 Teorie dei Campi e Particelle I

FIS/02 Teorie dei Campi e Particelle 2

FIS/02 Teorie di Gauge su Reticolo

FIS/03 Complementi di Meccanica Statistica

FIS/03 Fisica dei Dispositivi a Stato Solido

FIS/03 Fisica dei Plasmi

FIS/03 Fisica dei Solidi

FIS/03 Materiali e Fenomeni a Basse Temperature

FIS/03 Meccanica Statistica 2

FIS/03 Teoria dei Solidi

FIS/03 Teoria Quantistica della Materia

FIS/04 Acceleratori di Particelle (*Particle Accelerators*)

FIS/04 Fisica Adronica

FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari I

FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari 2

FIS/04 Fisica Nucleare

FIS/04 Metodologie Sperimentali per la Ricerca dei Processi Rari

FIS/04 Nuclear Sciences and Applications

FIS/04 Radioattività (*Radioactivity*)

FIS/04 Tecniche Sperimentali della Fisica Nucleare e Subnucleare  
(*Experimental Techniques of Nuclear and Subnuclear Physics*)

FIS/05 Astrofisica delle Alte Energie

FIS/05 Fisica delle Astroparticelle

FIS/05 Fisica Spaziale



FIS/05 Relatività e Cosmologia 1

FIS/05 Relatività e Cosmologia 2

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici

FIS/07 Teoria dei Sistemi a Molti Corpi (8 CFU)

\*\*\*\*\*

**Piano di studi “Fisica dell’Atmosfera e Meteorologia”**

1° Anno	I° semestre		
[C]	Fis/02	Metodi Matematici della Fisica 2	9 cfu
[C]	Fis/02	Meccanica Quantistica 2	9 cfu
[C]	Fis/03	Struttura della Materia 2	6 cfu
<hr/>			
	II° semestre		
[C]	Fis/06	Fisica dei Sistemi Dinamici	6 cfu
[C]	Fis/01	Fisica Computazionale	8 cfu
[AI]	Fis/01	Fisica dei Fluidi Complessi e Turbolenza	8 cfu
[AI]	Fis/06	Laboratorio di Fisica dell’Atmosfera	8 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	2 cfu
<hr/>			
2° Anno	I° semestre		
[C]	- - -	Un corso di SSD Fis/03	6 cfu
[AI]	Fis/06	Telerilevamento	8 cfu
[ASL]	- - -	2 esami a scelta libera	12 cfu
<hr/>			
	II° semestre		
[- -]	- - -	Tesi	38 cfu
			<i>Totale Crediti 120</i>

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

Chemodinamica dell’Atmosfera (FIS/06 – 8 cfu)

Meteorologia Sinottica (FIS/06 - 8 cfu)

Modellistica Numerica (FIS/01 – 8 cfu)

\*\*\*\*\*

**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 I (*)	6 cfu
<hr/>			
	II° semestre		
[C]	- - -	I esame a scelta da Elenco 2	6 cfu
[AI]	- - -	I esame a scelta da Elenco 3	6 cfu
[AI]	Fis/07	Laboratorio di Fisica Biologica	6 cfu
[AI]	Fis/07	Fisica Biologica 2	6 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	2 cfu
<hr/>			
2° Anno	I° semestre		
[C]	Fis/07	Teoria dei Sistemi a Molti Corpi	8 cfu
[C]	- - -	I esame a scelta da Elenco 1	6 cfu
[ASL]	- - -	2 esami a scelta libera	12 cfu
<hr/>			
	II° semestre		
[- -]	- - -	Tesi	38 cfu

Totale Crediti 120

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

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

FIS/03 Complementi di Struttura della Materia

FIS/03 Fisica dei Liquidi e dei Sistemi Disordinati

FIS/03 Fisica del Neutrone e Applicazioni

FIS/03 Teoria Quantistica della Materia

FIS/04 Nuclear Sciences and Applications

FIS/04 Radioattività (*Radioactivity*)**Elenco 2:**

FIS/05 Relatività e Cosmologia I

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici

**Elenco 3:**

FIS/01 Termodinamica dei Processi Irreversibili

FIS/07 Dosimetry and Radioprotection

FIS/07 Fisica Medica

FIS/07 Misure ed Analisi di Biosegnali (*Measurement and Analysis of Biosignals*)

CHIM/02 Chimica Fisica I

BIO/10 Biochimica

BIO/10 Chimica Biologica

BIO/11 Biologia Molecolare

BIO/18 Genetica

\*\*\*\*\*

**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]	- - -	I esame a scelta da Elenco 2	6 cfu
<hr/>			
	II° semestre		
[C]	Fis/03	Fisica dei Solidi	6 cfu
[AI]	Fis/03	Teoria dei Solidi	6 cfu
[AI]	- - -	I esame a scelta da Elenco I	6 cfu
[ASL]	- - -	un corso a scelta libera	6 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	2 cfu
<hr/>			
2° Anno	I° semestre		
[C]	Fis/01	Laboratorio di Fisica della Materia	8 cfu
[AI]	Fis/03	Teoria Quantistica della Materia	6 cfu
[AI]	- - -	I esame a scelta da Elenco I	6 cfu
[ASL]	- - -	un corso a scelta libera	6 cfu
[- -]	- - -	Tesi	6 cfu
<hr/>			
	II° semestre		
[- -]	- - -	Tesi	32 cfu

Totale Crediti 120

**Elenco 1 – 6 Cfu (se non altrimenti indicato)**

FIS/03 Epitaxial Growth of Crystals and Nanostructures [Cfu 6+2 (Lab)]

FIS/03 Fisica dei Dispositivi a Stato Solido

FIS/03 Fisica dei Liquidi e dei Sistemi Disordinati

FIS/03 Fisica dei Sistemi a Bassa Dimensionalità

FIS/03 Fisica del Neutrone e Applicazioni

FIS/03 Fisica delle Superfici (*Surface Physics*)

FIS/03 Introduzione alla Crescita dei Cristalli

FIS/03 Materiali e Fenomeni a Basse Temperature

FIS/03 Microscopia e Nanoscopia

FIS/03 Ottica Quantistica

FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari I

FIS/04 Fisica Nucleare

FIS/04 Nuclear Sciences and Applications

FIS/04 Tecniche Sperimentali della Fisica Nucleare e Subnucleare

*(Experimental Techniques of Nuclear and Subnuclear Physics)*

**Elenco 2**

Corso a scelta FIS/05 o FIS/06

FIS/05 Processi Radiativi in Astrofisica

FIS/05 Relatività e Cosmologia I

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici

\*\*\*\*\*

**Piano di Studi “Fisica Nucleare e Subnucleare”**

1° Anno	I° semestre		
[C]	Fis/02	Metodi Matematici della Fisica 2	9 cfu
[C]	Fis/02	Meccanica Quantistica 2	9 cfu
[C]	Fis/03	Struttura della Materia 2	6 cfu
[C]	Fis/04	Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare (*)	6 cfu
<hr/>			
	II° semestre		
[C]	- - -	I esame a scelta da Elenco I	6 cfu
[AI]	Fis/04	Fisica delle Particelle Elementari I	6 cfu
[AI]	- - -	I esame a scelta da Elenco 2	6 cfu
[ASL]	- - -	un corso a scelta libera	6 cfu
[- -]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	2 cfu
<hr/>			
2° Anno	I° semestre		
[AI]	Fis/04	Fisica Nucleare	6 cfu
[C]	Fis/01	Laboratori di Fisica Nucleare e Subnucleare (Laboratory of Nuclear and Subnuclear Physics)	8 cfu
[AI]	- - -	I esame a scelta da Elenco 2	6 cfu
[ASL]	- - -	un corso a scelta libera	6 cfu
[- -]	- - -	Tesi	6 cfu
<hr/>			
	II° semestre		
[- -]	- - -	Tesi	32 cfu
			<i>Totale Crediti 120</i>

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

**ELENCO 1 - CFU 6**

FIS/05 Fisica delle Astroparticelle

FIS/05 Relatività e Cosmologia I

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici

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

FIS/01 Elettronica I

FIS/01 Elettronica 2

FIS/01 Fisica Computazionale (8 CFU)

FIS/01 Fisica della Gravitazione (*Gravitational Physics*)

FIS/01 Laboratorio di Gravitazione

FIS/01 Fenomeni Elettrici nei Gas e Applicazione ai Rivelatori di Ionizzazione [Cfu 4+2 (Lab)]

FIS/01 Particle Accelerators for Science and Technology

FIS/02 Fisica Teorica I

FIS/02 Metodi Matematici della Fisica 3

FIS/02 Teoria dei Campi e Particelle I

FIS/02 Teoria dei Campi e Particelle 2

FIS/02 Teorie di Gauge su Reticolo

*Tra i corsi FIS/02 si consiglia il corso Teoria dei Campi e Particelle I*

FIS/03 Complementi di Meccanica Statistica

FIS/03 Fisica dei Plasmi

FIS/03 Fisica dei Solidi

FIS/03 Fisica del Neutrone e Applicazioni

FIS/03 Materiali e Fenomeni a Basse Temperature

FIS/03 Meccanica Statistica 2

FIS/03 Teoria dei Solidi

FIS/03 Teoria Quantistica della Materia

FIS/04 Acceleratori di Particelle (*Particle Accelerators*)

FIS/04 Fisica Adronica

FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari 2

FIS/04 Metodologie Sperimentali per la Ricerca dei Processi Rari

FIS/04 Nuclear Sciences and Applications

FIS/04 Radioattività (*Radioactivity*)

FIS/04 Tecniche Sperimentali della Fisica Nucleare e Subnucleare

*(Experimental Techniques of Nuclear and Subnuclear Physics)*

FIS/05 Astrofisica delle Alte Energie

FIS/05 Fisica delle Astroparticelle

FIS/05 Fisica Spaziale

FIS/05 Relatività e Cosmologia I

FIS/05 Relatività e Cosmologia 2

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici

FIS/07 Fisica Biologica I

FIS/07 Teoria dei Sistemi a Molti Corpi (8 CFU)

\*\*\*\*\*

**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
[AI]	Fis/02	Fisica Teorica I (*)	6 cfu
<hr/>			
	II° semestre		
[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
<hr/>			
2° Anno	I° semestre		
[C]	---	Corso a scelta da Elenco 0	8 cfu
[C]	---	Corso a scelta da Elenco 1	6 cfu
[ASL]	---	2 esami a scelta libera	12 cfu
[- -]	---	Tesi	8 cfu
<hr/>			
	II° semestre		
[- -]	---	Tesi	30 cfu
			<i>Totale Crediti 120</i>

(\*) 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

FIS/01 Fisica dei Fluidi Complessi e Turbolenza

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

FIS/01 Modellistica Numerica

FIS/07 Teoria dei Sistemi a Molti Corpi

**ELENCO 1 - CFU 6**

FIS/03 Complementi di Meccanica Statistica

FIS/03 Fisica dei Solidi

FIS/03 Meccanica Statistica 2

FIS/03 Teoria dei Solidi

FIS/03 Teoria Quantistica della Materia

FIS/04 Fisica Adronica

FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari I

FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari 2

FIS/04 Fisica Nucleare

FIS/04 Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare

**ELENCO 2 - CFU 6**

FIS/05 Fisica delle Astroparticelle

FIS/05 Relatività e Cosmologia I

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici

**ELENCO 3 - CFU 6**

FIS/01 Fisica della Gravitazione (*Gravitational Physics*)

FIS/01 Laboratorio di Gravitazione

FIS/01 Termodinamica dei Processi Irreversibili

FIS/02 Fisica Teorica Specialistica

FIS/02 Introduzione alla Teoria delle Stringhe

FIS/02 Metodi Matematici della Fisica 3

FIS/02 Supersimmetria

FIS/02 Teorie di Gauge su Reticolo

FIS/02 Teorie Relativistiche e Supergravità

FIS/03 Complementi di Meccanica Statistica

FIS/03 Fisica dei Solidi

FIS/03 Meccanica Statistica 2

FIS/03 Teoria dei Solidi

FIS/03 Teoria Quantistica della Materia

FIS/04 Fisica Adronica



FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari I  
 FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari 2  
 FIS/04 Fisica Nucleare  
 FIS/04 Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare

FIS/05 Relatività e Cosmologia I

FIS/06 Fisica dei Sistemi Dinamici

FIS/07 Fisica Biologica I

FIS/07 Fisica Biologica 2

\*\*\*\*\*

### Curriculum “Physics for Instrumentation and Technology”

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

1° Anno	I° semestre		
[C]	Fis/02	Mathematical Methods for Physics	8 cfu
[C]	Fis/02	Quantum Mechanics	8 cfu
[AI]	Mat/06	Statistical Techniques for Science and Technology	6 cfu
[ASL]	- - -	1 esame a scelta libera	6 cfu
<b>II° semestre</b>			
[C]	Fis/01	Electronics	8 cfu
[AI]	- - -	2 esami a scelta da Elenco	12 cfu
[AI]	Fis/04	Nuclear Sciences and Applications	6 cfu
[ASL]	- - -	1 esame a scelta libera	6 cfu
2° Anno	I° semestre		
[C]	Fis/03	Materials Sciences	8 cfu
[C]	Fis/01	Modern Applied Physics	8 cfu
[AI]	- - -	1 corso a scelta da Elenco	6 cfu
[- -]	- - -	Tesi	8 cfu
<b>II° semestre</b>			
[- -]	- - -	Italiano o Inglese	2 cfu
[- -]	- - -	Tesi	28 cfu

Totale Crediti 120

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

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

### **I. Piano di Studi “Detectors”**

ELENCO 1 – 6 CFU (se non altrimenti indicato)

FIS/01 Laboratory of Nuclear and Subnuclear Physics [Cfu 6+2 (Lab)]

FIS/01 Particle Accelerators for Science and Interdisciplinary Applications

FIS/01 Space Instruments

FIS/04 Experimental Techniques for Nuclear and Subnuclear Physics

FIS/04 Radioactivity

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

FIS/05 Visible and Infrared Observations from Space

### **2. Piano di Studi “Radioprotection and Hadrotherapy”**

ELENCO 2 - 6 Cfu

FIS/04 Radioactivity

FIS/07 Dosimetry and Radioprotection

FIS/07 Ionizing Radiation for Nuclear Medicine and Radiation Therapy

- - - Stage

### **3. Piano di Studi “Innovative Materials”**

ELENCO 3 - 6 Cfu

FIS/03 Advanced Characterization of Materials: Techniques and Applications

FIS/03 Surface Physics

FIS/03 Epitaxial Growth of Crystals and Nanostructures (6+2 cfu)

BIO/10 Biomacromolecules and Biochemical Processes

CHIM/03 Ceramic and Composite Materials

### **List of courses at free choice**

INF/01 Data Analysis and Data Mining Techniques (6 cfu)

\*\*\*\*\*

**PROGRAMMI DEI CORSI****ACCELERATORI DI PARTICELLE (6 Cfu)***Dott. Alessandro Cianchi*

Cenni storici sullo sviluppo degli acceleratori. Moto di particelle cariche in campi elettrici e magnetici. Acceleratori circolari e lineari. Betatroni e ciclotroni. Dinamica del fascio con e senza irraggiamento. Equazione di Hill. Parametri di Twiss. Matrici di trasporto. La carica spaziale. Parametri fondamentali dei fasci di particelle. Spazio delle fasi e teorema di Liouville.

La radiazione di sincrotrone. Introduzione alla fisica dei Free Electron Laser.

La misura dei parametri di un fascio di particelle.

Problematiche inerenti l'accelerazione delle particelle. Limiti delle attuali tecniche. Cenni sulle nuove tecnologie di accelerazione: l'accelerazione a plasma.

**Particle Accelerators for Science and Interdisciplinary Applications**

*Brief historic background. Charged particles motion in electric and magnetic fields. Circular and linear accelerators. Betatron and cyclotron. Beam dynamics with and without radiation. Hill equation. Twiss parameters. Transport matrix. Space charge. Fundamental parameters of a particle beam. Phase space and Liouville theorem.*

*Synchrotron radiation. Introduction to Free electron Laser physics.*

*The problems related with the particle acceleration. The limit of the present accelerating structures. Brief introduction to the new accelerating technique: laser plasma acceleration. Particle beams diagnostic.*

\*\*\*\*\*

**ADVANCED CHARACTERIZATION OF MATERIALS: TECHNIQUES AND APPLICATIONS (6 Cfu)***Prof.<sup>ssa</sup> Anna Sgarlata***Prerequisite knowledge:** Solid State Physics.

**Description:** This course provides an understanding of the concepts, instrumentation, and experimental techniques useful to probe the properties of the matter at the nanoscale.

After an introduction on the Nanoscale Science and Technology, The Ultra High Vacuum Surface techniques and The Structure of Solid Surfaces the course will cover extensively a variety of advanced Scanning Probe Microscopy (SPM) techniques such as Scanning Tunneling Microscopy (STM), Atomic Force Microscopy (AFM) and Near-Field Scanning Optical Microscopy (NSOM). The theory of operation for both imaging and spectroscopy will be addressed, with special attention being paid to instrument artifacts and analysis methods to avoid them. Some of the most significant results obtained with these techniques are illustrated. Then a look towards the transmission electron microscopy (TEM), the scanning electron microscopy (SEM), the ion-based techniques (Focused ion Beam (FIB)) and the Optical Techniques (Reflection Anisotropy Spectroscopy, Raman Spectroscopy) is offered. The

theoretical principles as well as the instrumentation and the specimen preparation are studied. Finally the Nanolithography, the Self Assembly and Self organization and other Nanomaterials and Nanostructures are studied.

The course is composed in nearly equal time in theoretical lectures as well as practical lessons performed in different laboratories of our department.

Literature:

- A) **Luth:** "Surfaces and Interfaces of Solid Materials"
- B) **Bechstedt** "Principles of Surface Physics", Springer
- C) **Dawn Bonnell:** Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy: Theory, Techniques and Application
- D) **Hamers,** Ann. Phys Chem 1989 vol 40, pag 531 "Atomic Resolution Surface Spectroscopy with the Scanning Tunneling Microscope"
- E) **C. J. Chen:**'Introduction to Scanning Tunneling Microscopy'
- F) **Weile Zhou & Zhong Lin Wang** "Scanning Microscopy for Nanotechnology Techniques and Applications", Springer
- G) Ed. By **M. Di Ventra, S. Evoy and J.R. Heflin Jr** 'Introduction to Nanoscale Science and Technology' Kluwer Academic Publishers Cap. 1, Cap 2
- H) 'Introduction to Focused Ion Beams: Instrumentation, Theory, Techniques and Practice' Ed Lucille A. Giannuzzi FEI Company, Fred A. Stevie, North Carolina State University, Springer CAP 1 e 2
- I) **M. Aziz,** MRS Bulletin 32 (2007) 424
- J) **J. F. Mc Gilp:** 'Probing Surface and Interface Structure using optics' J. Phys. Cond Matter. 22, 084018 (2010),
- K) **F. Wooten:** "Optical properties of solids", Academic Press

\*\*\*\*\*

## **ARCHIVI ASTRONOMICI (6 Cfu)**

*Dott. Matteo Perri*

Gli archivi astronomici (introduzione): cenni storici sulla creazione dei primi archivi astronomici, dati multibanda. Archiviazione dei dati astronomici: standard internazionali per i dati (formato FITS) e struttura a livelli degli archivi. Contenuto degli archivi: immagini, spettri energetici, curve di luce. Gestione ed archiviazione di dati astronomici: struttura dei programmi e dei database. Accesso ed utilizzo di archivi astronomici (generale): interfaccia web, esempi di queries specifiche, principali tools disponibili. Centri dati astronomici: rassegna dei principali centri (Simbad, NED, HEASARC, Sloan Digital Sky Survey, CDS, VizieR, ASDC, ...), contenuto degli archivi ed accesso ai dati. Tools di analisi interattiva dei dati: cenni di analisi dati astronomici, tools di analisi scientifica interattiva di dati astronomici e confronto di dati multibanda. L'Osservatorio Virtuale (Virtual Observatory, VO): scopo, definizione degli standard internazionali, pubblicazione nel VO di cataloghi ed archivi, tools VO-compliant, principali organismi (International Virtual Observatory Alliance - IVOA, EURO-VO, Data Center Alliance - DCA). Esercitazioni: esempi di ricerca ed estrazione di dati da catalogo; esempi di

ricerche incrociate, cross-correlazioni; esempi di uso dei tools di analisi scientifica interattiva; esempi di costruzione di SED multi-frequenza.

### **Astronomical Archives**

*Historical notes on the creation of the first astronomical archives, multi-band data. Archiving of astronomical data: international data standards (FITS format). Archive content: images, energy spectra, light curves. Management and archiving of astronomical data: the structure of programs and databases. Access and use of astronomical archives: web interface, specific query examples, main tools. Astronomical data centers: survey of main centers (Simbad, NED, HEASARC, Sloan Digital Sky Survey, CDS, Vizier, ASDC, ...), contents of the archives and access to the data. Interactive tools of scientific analysis of astronomical data and comparison of multi-band data. Virtual Observatory (VO): purpose, definition of international standards, publication of catalogs and archives in the VO, VO-compliant tools, main bodies (International Virtual Observatory Alliance - IVOA, EURO-VO, Data Center Alliance - DCA).*

\*\*\*\*\*

### **ASTROBIOLOGIA (6 Cfu)**

*Dott. Amedeo Balbi*

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

\*\*\*\*\*

### **ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE (6 Cfu)**

*Dott. Gianluca Israel*

Il corso si prefigge di fornire gli strumenti teorici ed osservativi per lo studio degli oggetti compatti nella banda delle alte energie. Introduzione: storia dell'astronomia X e Gamma; contatori proporzionali, strumenti collimati, strumenti ad immagine, risoluzione angolare, energetica e temporale. Cenni di statistica dei segnali e di analisi temporale e spettrale nelle alte energie. Fondamenti: meccanismi di emissione e assorbimento; fisica della materia degenere e stelle degeneri (nane bianche e stelle di

neutroni); cenni sulla fisica dei buchi neri; teoria dell'accrescimento, meccanismi di trasferimento di massa. Sorgenti stellari compatte di radiazione X e Gamma: pulsar radio, binarie a raggi X di piccola e grande massa, oggetti compatti isolati, magnetars, variabili cataclismiche. Cenni su emissione di alta energia da stelle non degeneri, resti di supernovae, AGN e galassie del gruppo locale. Lampi di raggi gamma. Esercitazione pratica di analisi dati nella banda X.

### **High Energy Astrophysics**

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

\*\*\*\*\*

### **ASTROFISICA EXTRAGALATTICA I (6 Cfu)**

*Prof. Fausto Vagnetti*

Struttura della Galassia. Gruppo Locale, scala delle distanze. Galassie a disco, ed ellittiche. Nuclei Galattici Attivi, paradigma del black hole, disco di accrescimento. Emissione continua e variabilità. Broad Line Region e Narrow Line Region, proprietà delle nubi, correlazioni righe-continuo, effetto Baldwin. Richiami di cosmologia, distanza di luminosità. Surveys, effetto Eddington, correzione-K. Criteri di selezione.  $\log N$ - $\log S$  e test  $V/V_{max}$ . Funzione di luminosità e sua evoluzione. Cosmic Downsizing. Galassie di alto redshift, evoluzione passiva ed attiva. Bimodalità di colore, blue cloud, red sequence.

### **Extragalactic Astrophysics I**

*The Galaxy and the galaxies, main data, classification, catalogs, surface photometry, luminosity function. Distances and velocities in the Galaxy. The Local Group, measures of distances, dwarf galaxies, chemical evolution. Disk galaxies, photometry, rotation curves, Tully-Fisher relation. Elliptical galaxies, photometry, stellar velocities, Faber-Jackson relation, fundamental plane. Active galactic nuclei, black hole paradigm, accretion disk. Continuous emission and variability. Broad line region and narrow line region, cloud properties, line-continuous correlations, Baldwin effect. Cosmology review, luminosity distance. Surveys, Eddington effect, K-correction. Selection criteria.  $\log N$ - $\log S$  and  $V/V_{max}$  test. Luminosity function and its evolution. Cosmic Downsizing. High redshift galaxies, Active and passive evolution. Color bimodality, blue cloud, red sequence.*

\*\*\*\*\*

### **ASTROFISICA EXTRAGALATTICA 2 (6 Cfu)**

*Prof. Pasquale Mazzotta*

Struttura su grande scala dell'universo. Formazione e dinamica della ragnatela cosmica, degli ammassi e dei gruppi di galassie. Modelli semplici di collasso per la materia oscura. Fisica del gas intergalattico e intracluster. Meccanismi di riscaldamento e raffreddamento. Arricchimento chimico del gas intergalattico e intracluster. Osservazione degli ammassi di galassie nelle bande a raggi X e delle

microonde, Ly $\alpha$  e X-ray-forest. Stima della massa degli ammassi di galassie: metodi dinamici, osservazioni nelle bande a raggi X e delle microonde, lenti gravitazionali. Cosmologia con gli ammassi di galassie: funzione di massa, leggi di scala.

### **Extragalactic Astrophysics 2**

*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.*

\*\*\*\*\*

### **ASTROFISICA STELLARE (6 Cfu)**

Prof. Giuseppe Bono

#### I. Struttura dello Sferoide Galattico

- I.1 L'alone galattico
- I.2 Il bulge
- I.3 Il disco
- I.4 Sistemi stellari
  - I.4.1 Ammassi globulari
  - I.4.2 Ammassi aperti e associazioni
- I.5 Scala distanza galattica
- I.6 Distribuzione in metallicità
- I.7 Proprietà cinematiche
- I.8 Nucleosintesi primordiale
- I.9 Evoluzione nucleare e elementi  $\alpha$

#### 2. Equazioni delle Strutture Stellari

- 2.1 Equilibrio idrostatico
- 2.2 Il criterio di Schwarzschild. Overshooting.
- 2.3 Trasporto di energia radiativo e convettivo
- 2.4 Atmosfere stellari

#### 3. Condizioni fisiche della materia stellare

- 3.1 Equazione di stato
- 3.2 Opacità e interazione materia-radiazione
- 3.3 Generazione di energia
- 3.4 Reazioni nucleari

#### 4. Formazione stellare

- 4.1 Formazione stellare ed evoluzione lungo la traccia di Hayashi
  - 4.1.1 Stelle completamente convettive

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

## **Stellar Astrophysics**



1. Structure of the Galactic spheroid
  - 1.1 Galactic halo
  - 1.2 Galactic bulge
  - 1.3 Galactic disc
  - 1.4 Stellar systems
    - 1.4.1 Globular Clusters
    - 1.4.2 Open Clusters and Associations
  - 1.5 Galactic distance scale
  - 1.6 Metallicity distribution
  - 1.7 Kinematic properties
  - 1.8 Particles and Big Bang Nucleosynthesis
  - 1.9 Nuclear evolution and  $\alpha$ -elements
2. Equations of Stellar Structure
  - 2.1 Hydrostatic equilibrium
  - 2.2 Schwarzschild criterion. Overshooting.
  - 2.3 Radiative and convective energy transport
  - 2.4 Stellar atmosphere
3. Physical conditions of the Stellar Matter
  - 3.1 Equation of state
  - 3.2 Opacity and matter-radiation interaction
  - 3.3 Energy generation
  - 3.4 Nuclear reactions
4. Star formation
  - 4.1 Star formation and evolution along the Hayashi track
    - 4.1.1 Fully convective stars
    - 4.1.2 Evolution until hydrogen burning ignition
5. The Hydrogen Burning Phase
  - 5.1 The p-p chain
  - 5.2 The CNO cycle
  - 5.3 Secondary elements
  - 5.4 The H-burning phase in Low Mass (LM) stars: the solar case
  - 5.5 The H-burning phase in upper Main Sequence (MS) stars
  - 5.6 The MS dependence on chemical composition and on convection efficiency
  - 5.7 The Mass-Luminosity relation
  - 5.8 The Schönberg-Chandrasekhar limit
  - 5.9 Post MS evolution
    - 5.9.1 Low, intermediate and massive stars
    - 5.9.2 The Helium flash
  - 5.10 The Red Giant Branch (RGB) dependence on physical and chemical parameters
    - 5.10.1 The RGB bump
    - 5.10.2 The tip of the RGB

- 5.11 Evolutionary properties of very metal-poor stars
- 6. The Helium burning phase
  - 6.1 The nuclear reactions
  - 6.2 The Zero Age Horizontal Branch (ZAHB)
  - 6.3 The He core burning phase in low-mass stars
  - 6.4 The He burning phase in more massive stars
  - 6.5 Pulsation properties inside the Cepheid instability strip
- 7. The Advanced Evolutionary Phases
  - 7.1 The Asymptotic Giant Branch (AGB)
    - 7.1.1 The thermally pulsing phase
    - 7.1.2 The s-elements nucleosynthesis
  - 7.2 Chandrasekhar limit
  - 7.3 Carbon-Oxygen and Helium core white dwarfs
  - 7.4 Advanced evolutionary stages
  - 7.5 Supernovae explosions
- 8. Stellar observables of cosmological interest
  - 8.1 Primordial Helium abundance
  - 8.2 Absolute and relative ages of Globular Clusters
  - 8.3 Primary and secondary distance indicators
  - 8.4 The Hubble constant
- 9. Nucleosynthesis
  - 9.1 Yields from AGB stars
  - 9.2 Yields from Supernovae type Ia and type II

\*\*\*\*\*

## **BIOCHIMICA**

*Prof. Jens Zacho Pedersen*

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

\*\*\*\*\*

## **BIOLOGIA MOLECOLARE**

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

Il DNA come materiale genetico. Struttura chimica, struttura fisica e superstrutture del DNA e dell'RNA. Codice genetico. Traduzione: meccanismo e regolazione. Replicazione del DNA e suo controllo. Organizzazione ed evoluzione di geni e genomi. Cromosomi, cromatina e nucleosomi.

Trascrizione e sua regolazione: promotori, RNA polimerasi, fattori di trascrizione. Maturazione, splicing ed editing dell'RNA. Controlli globali e regolazioni complesse.

\* \* \* \* \*

## **BIOMACROMOLECULES AND BIOCHEMICAL PROCESSES (6 Cfu)**

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

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

The course provides the understanding of the molecular events involved in biological processes and the study of the biomacromolecules, and the following topics will be addressed: The organization of the cell. Lipids and biological membranes. Nucleic Acids and Genetic code. DNA Replication and Transcription. Control of gene expression. Protein synthesis in eukariotic system. Amino acids and their properties. The shape and structure of proteins. Protein Function. Enzymes and their regulation. Allosteric proteins, Hemoglobin and oxygen transport. Vitamins and Coenzymes. Bioenergetic processes in the cell. Signal transduction and visual system. Molecular motors. Extracellular matrix and Tissue engineering. Biomacromolecular Microchips (Microarray of DNA and proteins)

\* \* \* \* \*

## **CERAMIC AND COMPOSITE MATERIALS (6 Cfu)**

Prof.<sup>ssa</sup> Francesca Nanni

Mutuato dal corso di Compositi e Ceramiche – CdLM in Scienza e Tecnologia dei Materiali

1) Ceramic materials:

*structure of ceramics*: mechanical and functional properties of ceramics

*the ceramic process*: powder synthesis, forming and sintering

2) Composite materials:

*polymeric matrix composite materials (PMC)*: main types of matrix and reinforcements, unidirectional, short fibres and particle composites, micromechanical model of unidirectional and particle composites, notes on fracture mechanics, toughness, impact and fatigue resistance of composites, notes on nanocomposites

*notes on metal matrix composites (MMC)*: main types of matrix and reinforcements, main MMC properties

*notes on ceramic matrix composites (CMC)*: main types of matrix and reinforcements, main CMC properties.

3) Surface Engineering:

*thermal-spray- processes*: main techniques: plasma spray, flame spray, arc spray, thermal sprayed coating form and main properties.

*PVD and CVD processes*

4) Notes on material selection in mechanical design (Ashby methodology)

\*\*\*\*\*

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

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

Il corso sarà suddiviso in quattro moduli fondamentali:

- I. Composizione dell'atmosfera e inquinamento atmosferico: inquinanti gassosi in tracce e materiale particellare.
- II. Dinamica di inquinanti atmosferici in troposfera e stratosfera. Formazione, crescita, dinamiche e proprietà degli aerosol. Emissione, trasporto, diffusione e rimozione di composti gassosi in tracce in atmosfera.
- III. Formulazione di modelli matematici, statistici, chimici e di trasporto di inquinanti in atmosfera.
- IV. Interazioni fra inquinamento atmosferico, salute dell'uomo e clima.

TESTI CONSIGLIATI:

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

*Questo documento presenta il Programma nelle sue linee generali. Un documento successivo descriverà il programma in dettaglio.*

\*\*\*\*\*

### **CIBERNETICA (6 Cfu)**

Dott. Alessandro Drago

Fondamenti di teoria della probabilità. Processi stocastici (Poisson, Gamma, ecc.). Elementi di teoria dell'informazione. Teoremi di Shannon. Sistemi di codifica e di compressione. Trasformate bidimensionali. Filtraggio. Restaurazione (filtro di Wiener e di Kalman).

\*\*\*\*\*

### **COMPLEMENTI DI MECCANICA STATISTICA (6 Cfu)**

Dott. Gaetano Salina

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

\*\*\*\*\*

### **COMPLEMENTI DI STRUTTURA DELLA MATERIA (6 Cfu)**

Prof. Maurizio De Crescenzi

Il corso è diretto a studenti del terzo anno che intendono acquisire una preparazione di base sui fondamenti sperimentali e teorici della struttura degli atomi e dei solidi. Particolare riguardo sarà data alle applicazioni di nuovi fenomeni fisici quali le nonostrutture, la superconduttività ad alta temperatura,

l'STM (scanning tunneling microscopy) e il laser a semiconduttore.

**TESTI CONSIGLIATI:**

R. Eisberg e R. Resnick, Quantum Physics per atomi e introduzione storica

S.M. Sze, Fisica dei dispositivi a semiconduttore

C. Kittel: Introduzione alla Fisica dello stato Solido

\*\*\*\*\*

**DOSIMETRY AND RADIOPROTECTION (6 Cfu)**

*Dott. Luca Di Fino*

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.

\*\*\*\*\*

**ELETTRONICA I (6 Cfu)**

*Prof. Roberto Messi*

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

\*\*\*\*\*

**ELETTRONICA 2 (6 Cfu)**

*Dott. Roberto Cardarelli*

Sistemi e segnali digitali – Campionamento. Spettro del dato campionato. trasformata di Fourier discreta e trasformata Z. Simulazione digitale di sistemi analogici: trasformata bilineare. Filtri digitali. Spettro di potenza: metodi diretti e parametrici. Predizione lineare. Massima entropia. Metodi basati su autovalori. Applicazione alla riduzione del rumore. Filtri di Wiener e di Kalman.

\*\*\*\*\*

**ELETTRONICA DIGITALE (6 Cfu)**

*Dott. Andrea Salamon*

Calcolatori elettronici – Algebra di Boole. Reti logiche. Codici numerici. Algoritmi di calcolo. Convertitori analogico/digitale. Famiglie di circuiti logici. Microprocessori. Calcolatori ed Elaboratori digitali di segnali (DSP).

\*\*\*\*\*

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

*Dott. Ernesto Placidi*

Fundamentals of crystal growth. Epitaxial growth techniques (Molecular Beam Epitaxy, Liquid Phase Epitaxy, Vapor Phase Epitaxy, Metal Organic Vapor Phase Epitaxy, Chemical Vapour Deposition).

Thermodynamic and kinetic effects during growth. Crystal defects and doping.

Techniques for the calibration and monitoring of the growth: Reflection High Energy Electron Diffraction, X-Ray diffraction, Reflectance Anisotropy Spectroscopy.

Elementary processes on surface: diffusion, nucleation, desorption, intermixing, segregation.

Growth of nanostructures: Quantum wells, quantum wires, quantum dots.

Surface ordering of nanostructures: Top-down and bottom-up approaches.

Laboratory experiments:

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

\*\*\*\*\*

### **FISICA ADRONICA (6 Cfu)**

*Prof. Emanuele Pace*

Correlazioni tra nucleoni. Matrici densità a uno e a più corpi.

Metodi accurati per la determinazione dell'energia e delle funzioni d'onda per sistemi di nucleoni.

Metodi variazionali. Basi correlate. Diffusione quasi-elastica elettrone-nucleo. Funzioni di risposta non polarizzate e polarizzate. Funzione di scaling nucleare. Covarianza di Poincaré. Equazioni covarianti per trasformazioni di Poincaré per sistemi di nucleoni interagenti. Modelli a quark. Funzioni di struttura partoniche generalizzate.

\*\*\*\*\*

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

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

Introduzione: nuove prospettive nell'era post-genomica. L'origine della vita e l'evoluzione per selezione.

La cellula: procarioti ed eucarioti. Le macromolecole polimeriche: sequenze e loro contenuto informativo. Gli acidi nucleici: struttura e funzione. Metodi per il sequenziamento e la mappatura del DNA. Banche dati. Il DNA e i supercomputers: gigabytes e nanotecnologie. La trascrizione e la sua regolazione. La sintesi proteica. Le proteine: struttura e funzione. Livelli strutturali e contenuto informativo in proteine e acidi nucleici. Cinetiche di processi folding-unfolding. Interazioni idrofobiche:

contributo unitario e critico all'entropia di mescolamento. Le membrane cellulari: doppi strati, micelle e liposomi.

\*\*\*\*\*

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

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

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

\*\*\*\*\*

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

*Dott. Alessandro Pecchia*

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

\*\*\*\*\*

### **FISICA DEI DISPOSITIVI A STATO SOLIDO (6 cfu)**

*Dott. Fabio De Matteis*

Introduzione ai principali dispositivi a stato solido con particolare riferimento alle proprietà dei semiconduttori, ai principi fisici alla base del funzionamento dei dispositivi e alle loro caratteristiche applicative.

Elettroni nei solidi. Struttura a bande nei semiconduttori: massa effettiva; gap diretta e indiretta; proprietà dei portatori intrinseci ed estrinseci nei semiconduttori drogati. Dinamica dei portatori nei semiconduttori: relazioni velocità-campo elettrico; fenomeni di breakdown; trasporto per diffusione e spostamento, relazione di Einstein; iniezione di carica e livelli di quasi-Fermi; generazione e ricombinazione di portatori; equazione di continuità, lunghezza di diffusione. Giunzioni nei semiconduttori: diodi p-n; diodi reali; effetti di alte tensioni; risposta ac. Transistor a giunzione bipolare: caratteristiche statiche del transistor; parametri di funzionamento; transistor bipolare come inverter. Transistor ad effetto di campo: JFET/MESFET; MOSFET.

Dispositivi optoelettronici: fotocorrente in un diodo p-n; fotorivelatori; diodi ad emissione di luce (LED); laser a semiconduttore.

*Bibliografia:*

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

Per approfondire:

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

\*\*\*\*\*

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

Prof. Luca Biferale

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-Horvath 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.

\*\*\*\*\*

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

Dott. 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.

\*\*\*\*\*

### **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. Riconessione magnetica. Effetti nonlineari. Applicazioni: proprietà dei plasmi spaziali, vento solare e plasmi magnetosferici. Cenni di turbolenza magnetoidrodinamica.

\*\*\*\*\*

### **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.

\*\*\*\*\*

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

*Dott. Matteo Salvato*

Richiami sulla teoria del trasporto di carica nei solidi 3 dimensionali: conducibilità, legge di Ohm e cammino libero medio, gas di elettroni liberi, teorema di Bloch, bande di energia, massa efficace, approssimazione di Boltzmann, tempo di rilassamento, corrente elettrica e conducibilità.

Sistemi quantistici confinati: gas di elettroni in 2 dimensioni, buche e barriere quantiche, etero strutture, multistrati, nanofili e dots.

Effetto del campo magnetico: livelli di Landau, effetto Subnikov-Dehaas.

Effetto Tunnel: formula di Landauer, resistenza negativa e diodo tunnel.

Conduttanza quantistica, effetto Ballistico, weak localization, Coulomb blockade. Meccanismo di trasporto in sistemi granulari, nanotubi di carbonio, grafene.

Parte sperimentale: Metodi di deposizione, MBE. Metodi per misure di resistività: misure a 2 e a 4 contatti; metodo di Van der Paw. Deposizione di film sottile metallico; 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

\*\*\*\*\*

**FISICA DEI SOLIDI (6 Cfu)***Prof. Matteo Cirillo*

Metalli. Teoria di Drude. Teoria di Sommerfeld del gas di elettroni liberi. Teoria quantistica del gellio. Stato fondamentale del gellio nell'approssimazione di Hartree-Fock. Scambio. Approssimazione locale di Slater. Correlazione elettronica. Buca di Fermi. Gas elettronico polarizzato. Cristallo di Wigner. Schermo. Funzione dielettrica. Modelli di Thomas-Fermi e di Lindhard. Schermo dinamico. Plasmoni nei metalli. Funzione dielettrica longitudinale e trasversale. Proprietà ottiche dei semiconduttori. Proprietà di trasporto. Dinamica semiclassica degli elettroni. Equazione di Boltzmann. Approssimazione del tempo di rilassamento. Conducibilità statica e dinamica dei metalli. Dinamica in campo magnetico. Effetto Hall e magnetoresistenza. Gas bidimensionale di elettroni. Livelli di Landau. Effetto Hall quantistico intero. Risposta magnetica del gas di elettroni liberi. Paramagnetismo di Pauli. Diamagnetismo di Landau. Superconduttività. Coppie di Cooper. Teoria BCS. Fenomenologia e applicazioni della superconduttività.

**TESTI ADOTTATI:**G.Grosso and G.Pastori Parravicini: *Solid state Physics*, Academic PressN.W.Ashcroft and N.D.Mermin: *Solid State Physics*, Saunders

\*\*\*\*\*

**FISICA DELLA GRAVITAZIONE (6 Cfu)***Prof. Eugenio Coccia*

Fondamenti sperimentali della fisica della gravitazione. La Forza di Newton. Il Principio di Equivalenza della Gravitazione e dell'inerzia. Isotropia e omogeneità dello spazio e del tempo. Redshift gravitazionale. Il Principio di Equivalenza in Relatività Generale. Invarianza di Lorentz: la misura di  $g$ . Implicazioni teoriche e verifiche sperimentali della costanza nel tempo di  $G$ . Verifiche classiche della Relatività Generale. Teorie della gravitazione: previsioni e verifiche sperimentali. Formalismo PPN. Valori dei parametri principali in Relatività Generale. Teorie metriche e non metriche della gravitazione. La Teoria di Brans-Dicke. Parametri misurabili negli esperimenti spaziali e a terra. Deviazione della luce. Ritardo dell'eco radar. Interferometria su grande base. Esperimento di Lunar Ranging. L'effetto gravitomagnetico e le basi sperimentali per la sua rivelazione. Le onde gravitazionali. Principali metodi di rivelazione. Le frontiere della gravitazione. Fasi finali dell'evoluzione stellare. Il collasso gravitazionale e i suoi messaggeri. Emissione e rivelazione di neutrini da Supernovae e da eventi astrofisici violenti. Previsioni e verifiche sperimentali sulla natura dei buchi neri. La rivelazione del fondo stocastico di onde gravitazionali e le possibili informazioni sull'universo primigenio. La gravità a grandi distanze: interesse teorico e verifiche sperimentali. La gravità a piccole distanze: interesse teorico e verifiche sperimentali.

**Gravitational Physics**

*Experimental fundamentals of gravitational physics. Newton force. Principle of Equivalence of gravitation and inertia. Isotropy and homogeneity of space and time. Gravitational redshift. Principle of Equivalence in General*

*Relativity. Lorentz invariance: measurement of  $g$ -2. Theoretical consequences and experimental verification of constancy of  $G$  in time. Classical tests of General Relativity. Theories of gravitation: predictions and experimental tests. PPN formalism. Metric and non-metric gravitational theories. Brans-Dicke theory. Parameters measured in space and ground experiments. Deviation of light. Radar echo delay. Long Baseline Interferometry. Lunar Ranging Experiment. Gravitomagnetic effect. Gravitational waves. Main methods of detection. Frontiers of gravitation. Final stages of stellar evolution. Gravitational collapse and its messengers. Emission and detection of neutrinos from supernovae and from violent astrophysical events. Predictions and experimental verification of the nature of the black holes. Detection of the stochastic background of gravitational waves. Gravity at large distances: experimental tests and theoretical interest. Gravity at short distances: experimental tests and theoretical interest.*

\*\*\*\*\*

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

*Prof.<sup>ssa</sup> Rita Bernabei*

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

Astroparticle physics, D. Perkins, Master series in particle Physics, astrophysics and Cosmolgy, Oxford University + bibliografia indicata nelle lezioni

\*\*\*\*\*

### **FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI I (6 Cfu)**

*Prof. Giovanni Carboni*

Richiami di meccanica relativistica e quantistica. Storia. Le interazioni fondamentali, l'ipotesi di Yukawa, muone e pione, particelle e antiparticelle. Cenni su acceleratori e rivelatori di particelle.

Adroni e modello a quark, isospin, particelle strane, multipletti di mesoni e barioni. Cenni sul Modello Standard e su QCD, quark e gluoni, il colore, conseguenze sulle proprietà delle particelle.

Equazione di Dirac per particelle libere (richiamo), cenno alla seconda quantizzazione, diagrammi di Feynman, matrice S, calcolo di sezioni d'urto e probabilità di decadimento in casi semplici (decadimento del pione, della lambda e del muone). Il leptone tau. La  $g$ -2. Onde parziali, risonanze, teorema ottico.

Simmetrie discrete C, P e T. Positronio. Evidenze della violazione di C e P nelle interazioni deboli, elicità del neutrino. Angolo di Cabibbo. Oscillazioni dei K neutri, ipotesi di GIM, quark c,b,t. Quarkonio. Produzione e decadimento di particelle con charm e beauty. Violazione di CP nel Modello Standard e matrice CKM.

Modello a partoni. Funzioni di struttura. Quark di valenza e di mare. Esperimenti con sonde elettromagnetiche e con neutrini. Correnti neutre. Scoperta di W e Z. Proprietà di produzione e decadimento.

Scoperta del quark top. Bosone di Higgs.

Deficit dei neutrini dal Sole, oscillazioni dei neutrini e matrice di mixing, studio delle oscillazioni con neutrini solari, atmosferici e prodotti da acceleratori.

\*\*\*\*\*

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

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

Il Modello Standard delle interazioni elettrodeboli. 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. Produzione e decadimento della particella Z a LEP. Misura della massa dei bosoni W a LEP. Osservazione del quark top al Tevatron. Il meccanismo di Higgs. Ricerca del bosone di Higgs ad LHC. Test del Modello Standard ad LHC.

Ricerca di nuova fisica ad LHC. Prospettive ai futuri acceleratori: SLHC e Linear Collider.

\*\*\*\*\*

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

Prof.<sup>ssa</sup> Fulvia Patella

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

#### **Surface Physics**

*Thermodynamics of surfaces: surface free energy and surface tension. Strain and stress in thin films.*

*Equilibrium shape of crystals: Theorems of Wulff and Wulff-Kaischew. Atomic structure of diamond and zinc-blend ideal surfaces. Real surfaces: relaxation and reconstruction. Elementary process at surfaces: adsorption, desorption, diffusion. Experimental techniques for structural analysis: AFM/STM microscopy, LEED and RHEED. Electronic structure of surfaces: tight-binding and free-electron approaches. Surface states. Experimental techniques for probing the surface electronic structure: RAS and Photoemission.*

\*\*\*\*\*

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

Prof. Livio Narici

Osservare il cervello in azione. Brevi cenni di imaging cerebrale. Indagini anatomiche e funzionali. Tecniche non invasive per l'osservazione della attività cerebrale: limiti e prospettive. Cenni di: TAC, PET, MRI, EEG, MEG. I segnali elettrofisiologici (EEG & MEG), generazione, tecniche di misura e di

analisi (paradigmi, SNR, media, morfologia, latenza, tecniche nel dominio del tempo e della frequenza, cenni di analisi non lineari). Mappe cerebrali e loro dinamica. Localizzazione delle attività primarie. Verranno illustrati esempi tratti dalla recente letteratura. Verranno quindi forniti agli studenti dei dati elettrofisiologici da analizzare e sui quali svolgere una relazione che costituirà base fondamentale dell'esame.

\*\*\*\*\*

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

Prof.<sup>SSO</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.

\*\*\*\*\*

### **FISICA SPAZIALE (6 Cfu)**

Dott. Marco Tavani

Missioni spaziali: satelliti e strumentazione scientifica, lanciatori, orbite, background, trasmissione dati, segmento di terra. Esempi di osservazioni e analisi dati di strumentazione per l'astrofisica gamma. Magnetosfera terrestre e sua interazione con l'ambiente cosmico. Fasce di radiazione. Accelerazione di particelle nella magnetosfera. Studio dei processi di accelerazione di particelle in sorgenti astrofisiche. Riconnesione magnetica e *flares* solari. Shock magneto-idrodinamici. Accelerazione diffusiva di Fermi del primo e secondo ordine. Modelli di accelerazione non diffusiva, scattering risonante di onde e particelle. Accelerazione in pulsar e venti relativistici. Dischi di accrescimento e modelli di accelerazione. Getti relativistici. Sorgenti astrofisiche di alta energia e analisi dei processi fondamentali che ne determinano l'emissione X, gamma, TeV alla luce dei dati più recenti.

### **Space Physics**

*Space missions: satellites and scientific instrumentation. Rockets, orbits, background, data transfer, Earth segment. Examples of observations and data analysis for the gamma-ray astrophysics. Geomagnetic field and its interaction with the cosmic environment. Radiation belts. Acceleration of particles in the magnetosphere. Particle acceleration processes in astrophysical sources. Magnetic reconnection and solar flares. Magneto-hydrodynamics shocks. First and second order Fermi acceleration processes. Non diffusive acceleration, wave and particle resonant scattering. Accelerations in the pulsars, relativistic winds. Accretion disks and acceleration*

*models. Relativistic jets. High energy astrophysical sources, and analysis of the fundamental processes determining their X-ray, gamma, TeV emission at the light of most recent data.*

\*\*\*\*\*

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

*Docenti vari*

Corso monografico su argomenti di interesse attuale in fisica teorica delle particelle elementari, delle stringhe, della materia condensata, dei sistemi complessi e dei sistemi astrofisici e cosmologici.

\*\*\*\*\*

### **GENETICA**

*Prof. Giovanni Cesareni*

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

\*\*\*\*\*

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

*Dott. Fabrizio Arciprete*

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 e modello di Temkin. Nucleazione. Termodinamica della nucleazione. Velocità di nucleazione. Nucleazione omogenea ed eterogenea. Teoria atomistica della nucleazione.

\*\*\*\*\*

### **INTRODUZIONE ALLA TEORIA DELLE STRINGHE (6 Cfu)**

*Prof. Massimo Bianchi*

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.

\*\*\*\*\*

### **IONIZING RADIATION FOR NUCLEAR MEDICINE AND RADIATION THERAPY (6 Cfu)**

*Docente da definire*

The course will focus on diagnostic and therapeutic applications of ionizing radiation. X Ray imaging: X rays production, conventional and Computed Tomography imaging. Nuclear Medicine Imaging: Principles of conventional nuclear imaging, Single Photon Emission Computed Tomography, Positron Emission Tomography. Radioisotopes production methods. Radiotherapy and Hadron therapy: rationale, medical accelerators, beam spreading methods, treatment planning systems. Therapeutic beam dosimetry. Brachiterapy, Boron Neutron Capture Therapy.

\*\*\*\*\*

### **ISTITUZIONI DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE (6 Cfu)**

*Dott.<sup>ssa</sup> Roberta Sparvoli*

Fisica del Nucleo: richiami del modello a shell. Interazione nucleone-nucleone. Il deutone. Reazioni nucleari. Fisica delle Particelle Elementari: Concetti fondamentali. Stati eccitati e risonanze. Principi di invarianza, leggi di conservazione e simmetrie. Invarianza CPT. Interazione debole. Neutrini ed antineutrini. Diffusione pionenucleone. SU(3). I quark costituenti. Teoria del colore e cromodinamica quantistica. Mesoni e barioni come stati legati dei quark. Massa degli adroni.

\*\*\*\*\*

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

*Dott. Giancarlo De Gasperis*

Cenni di ottica applicata: sistemi reali, calcolo del doppietto acromatico, sistemi di lenti. I telescopi e gli strumenti di piano focale: i principali schemi ottici, coronografi, montature, derotatori, spettrometri per immagini. Cenni di ottiche X e Gamma e di radioastronomia. Fotometria: filtri, sistemi fotometrici, indice di colore, modulo di distanza, distanze, correzione per colore. I rivelatori: calibrazione delle lastre fotografiche, CCD, CMOS, Ibridi. Sistemi criogenici per IR. Elettroniche di controllo e campionamento. Tecniche di calibrazione (PHT). Esperienze di laboratorio: sensori: calibrazione di un CCD (linearità e tecnica del Photon Transfer).

#### ***Astrophysics Laboratory***

*Elements of applied optics: real systems, calculation of the achromatic doublet, lens systems. Telescopes and focal plane instruments: main optical schemes, coronagraphs, mounts, derotators, imaging spectrometers. Outline of X-ray, Gamma-ray and radioastronomy optics. Photometry: filters, photometric systems, color index, distance modulus, distance, color correction. Detectors: calibration of photographic plates, CCD, CMOS, Hybrid. Cryogenic systems for IR. Monitoring and sampling electronics. Calibration techniques (PHT). Laboratory practice: sensors: calibration of a CCD (linearity and Photon Transfer technique).*

\*\*\*\*\*

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

Dott. Paolo Camarri

Proprietà statistiche delle immagini nei domini reale e complesso. Trasformazioni e loro proprietà. Trasformazioni veloci. Impiego di DSP in trasformazioni ortogonali. Applicazioni al TMS320. Logica programmabile. Circuiti analogici e simulatori SPICE e SPEC- TRE. Applicazione al progetto di un circuito con software SPECTRE. Un'esperienza presso un gruppo sperimentale.

#### **Electronics**

*Introduction to High-speed digital design, transmission line, signal integrity, IIR - FIR digital filters, introduction to FPGA, C and VHDL code, laboratory activity.*

\*\*\*\*\*

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

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

Tecniche di biologia molecolare (lezioni teoriche): ultracentrifugazione, denaturazione, riassociazione e ibridazione di acidi nucleici; purificazione e analisi di aminoacidi e proteine; analisi elettrochimiche, isotopiche e di separazione; calorimetria differenziale; misure elettrofisiologiche con il patch-clamp. Esercitazioni pratiche (presso gruppi di ricerca dei Dip. di Fisica, Biologia e Chimica e presso Istituti di ricerca CNR e ENEA) su macromolecole o sistemi modello. Spettroscopia di assorbimento UV-VIS; Microscopia a forza atomica; Spettroscopia X; EPR; NMR.

TESTO CONSIGLIATO:

Cantor, Schimmel, Biophysical Chemistry Part II

\*\*\*\*\*

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

Dott.<sup>ssa</sup> Stefania Argentini

STRATO LIMITE PLANETARIO (SLP)

- Definizione di strato limite planetario, spessore, struttura ed evoluzione
- Trasporto turbolento nello SLP
- Concetto di stabilità termica
- Strato limite stabile, instabile e neutro
- Convezione libera e forzata, concetto di "piuma convettiva"
- Ipotesi di Taylor
- Definizione di temperatura potenziale, virtuale, potenziale virtuale
- Andamento della temperatura con la quota in diverse condizioni di stabilità termica
- Definizione di energia cinetica turbolenta ed andamento spazio temporale
- Profilo della velocità del vento nello strato superficiale secondo la teoria della similarità
- Funzioni di stabilità (relazioni flusso-profilo)



- Profilo del vento in condizioni di neutrali, stabili ed instabili
- Lunghezza di rugosità
- Velocità di attrito
- Lunghezza di Monin-Obukhov
- Numero di Richardson
- Spettro della velocità del vento in prossimità della superficie
- Flussi turbolenti di calore e momento

#### BILANCIO ENERGETICO

- Flusso di calore sensibile
- Flusso di calore latente
- Flusso di calore alla superficie

#### BILANCIO RADIATIVO

- Radiazione solare riflessa
- Radiazione solare trasmessa
- Radiazione infrarossa emessa dalla superficie
- Radiazione infrarossa diffusa dalla atmosfera
- Bilancio radiativo

#### SENSORI PER LA MISURA IN SITU DEI PRINCIPALI PARAMETRI ATMOSFERICI

Conno alle tecniche strumentali in relazione agli effetti meccanici, termici, resistivi, radiativi, acustici prodotti dalla grandezza da misurare.

Sensori per una stazione meteorologica

- Termometri (termometri a liquido, termoresistenze, termistori, termocoppie)
- Igrometri
- Barometri
- Anemometri (anemometro a coppe, a banderuola, ad elica, sonico, a filo caldo)
- Radiometri (cenni)
- Misuratori di flusso nel terreno (cenni)

#### TECNICHE DI TELEMISURA DI PARAMETRI ATMOSFERICI

- Importanza della telemisura e della misura dei profili nello studio della dinamica dell'atmosfera
- Concetti su cui si fondano le tecniche di telemisura attive e passive dei parametri atmosferici

Remote Sensing acustico

La tecnica:

- Cenni storici sullo sviluppo della tecnica
- Propagazione del suono in atmosfera, indice di rifrazione acustico;
- Effetti delle variazioni dei parametri atmosferici sull'indice di rifrazione acustica; analogie e confronti con l'onda elettromagnetica

- Equazione della diffusione. Effetti della turbolenza termica e meccanica.
- Sodar: configurazioni e principi di funzionamento
- Estrazione dell'informazione Doppler.
- Grandezze misurabili direttamente: profilo del vento; statistiche dei moti verticali, struttura termica dello strato limite atmosferico.
- Grandezze ricavabili indirettamente ed in casi particolari usando le relazioni di similarità: profili di flusso di calore sensibile, flussi di momento, della velocità di dissipazione dell'energia turbolenta.

#### Applicazioni:

- Studio dei termini del bilancio energetico (flusso di calore sensibile, latente, nel terreno) utilizzando serie temporali reali
- Studio dei termini bilancio radiativo
- Studio dell' influenza delle nubi sul bilancio energetico e radiativo
- Studio della evoluzione dello strato limite atmosferico attraverso la visualizzazione facsimile della struttura termica.
- Studio dell'interazione Fohn – strato limite atmosferico
- Studio delle correnti di drenaggio e dei microfronti
- Studio delle onde di gravità ed in particolare delle onde di Kelvin – Helmholtz: origine di queste ultime e visualizzazione nella registrazione degli echi sodar.
- Studio della circolazione di brezza e della sua propagazione nell'entroterra con un insieme di sodar.
- Studio della circolazione associata all'isola di calore urbana.
- Uso del sodar nello studio dei processi diffusivi in atmosfera ed applicazioni al controllo dell'inquinamento
- Uso dei profili in generale per l'assimilazione ed il controllo della evoluzione nelle simulazioni delle circolazioni locali.

#### Radar Wind Profiler

- Principio di funzionamento.
- Configurazione e portata di un wind profiler in funzione della frequenza e della potenza utilizzate.
- Tecnica di rilevazione dell'informazione Doppler; confronto con il caso acustico.
- Tecniche per fare emergere il segnale dal rumore di fondo.

#### RASS (Radio Acoustic Sounding System)

- Principio di funzionamento
- Condizioni di risonanza Bragg
- Rass ottenuto come estensione di un sodar con aggiunta di una parte elettromagnetica (Doppler RASS)
- Rass ottenuto come estensione di un wind profiler con aggiunta di emettitore acustico (BRAGG.Rass)

\*\*\*\*\*

## **LABORATORIO DI FISICA DELLA MATERIA (8 Cfu)**

*Prof. Claudio Goletti*

### 1. Tecnologia del Vuoto

Richiami della teoria cinetica dei gas, Distribuzione statistica delle velocità, Le proprietà di trasporto di un gas, Velocità di pompaggio efficace, L'effetto della superficie sul valore limite del vuoto, Pompe da vuoto, Pompe rotative, Pompe a diffusione, Pompe turbomolecolari, Pompe ioniche e criogeniche, Misura della pressione, Barometri e misuratori di basso vuoto, Manometri differenziali, Vacuometri a conducibilità termica, Vacuometri a scarica, Bayard-Alpert.

### 2. Ottica delle Particelle cariche

Brillanza, Legge di Snell, Diaframmi per le particelle cariche, Lenti elettrostatiche, Metodo Matriciale, Aberrazioni, Progettazioni di un cannone elettronico, Progettazione di un cannone ionico.

### 3. Spettroscopia da livelli profondi

Effetto Auger, Spettroscopie di superficie: XPS (fotoemissione) vs. AES (Auger electron spectroscopy), Sputtering Auger, X-ray Absorption Spectroscopy (XAS), EXAFS and XANES, Analisi dei dati EXAFS

Il corso prevede tre diverse esercitazioni laboratoriali presso altrettanti gruppi di ricerca

\*\*\*\*\*

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

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

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

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

### **Laboratory of Nuclear and Subnuclear Physics**

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

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

*The course includes small experiments in laboratory.*

\*\*\*\*\*

## **LABORATORIO DI GRAVITAZIONE (6 Cfu)**

*Prof. Massimo Bassan*

Gravità Newtoniana: misure e possibili violazioni-multipoli-j2 del sole. Principio di Equivalenza debole e forte: esperimento di Eotvos, forze di marea, Lorentz Invariance. Relatività Generale (GR) in approssimazione lineare-limite newtoniano-PPN-componenti elettriche e magnetiche del tensore metrico-campo di massa sfericaGR: 5 verifiche classiche. Pulsar binarie: laboratori di GR. Onde gravitazionali in GR: quadrupolo oscillante e rotante, sorgenti, rivelatori risonanti e dinterferometrici. Rivelazione di campi gravitomagnetici.

\*\*\*\*\*

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

*Prof. Matteo Cirillo*

Liquidi criogenici e diagrammi di fase. Macchine termiche e frigorifere. Effetto JouleThompson. Criostati ad elio. Termometria. Superfluidità dell'4He. Modello a due fluidi per 4He. Fononi e rotoni. Fluidodinamica dell'4He. Refrigeratore a diluizione 3He e 4He. Superfluidità dell'3He. Proprietà magnetiche dei superconduttori del I e del II tipo. Modello di London e stato intermedio. Lo stato misto e i vortici di Abrikosov. Modello di Landau-Ginsburg. Cenni al modello microscopico della superconduttività ed al tunneling superconduttivo. Effetto Josephson e SQUIDs.

\*\*\*\*\*

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

*Prof. Maurizio De Crescenzi*

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 experiences: Scanning Tunneling Microscopy, Synthesis and growth of a nano material: carbon nanotubes, Auger and XPS spectroscopy of a stainless steel.

Books:

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)**

*Docente da definire*

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

\*\*\*\*\*

### **MECCANICA CELESTE (6 Cfu)**

*Dott. Giuseppe Pucacco*

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

### **Celestial Mechanics**

*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 QUANTISTICA 2 (9 Cfu)**

*Prof. Emanuele Pace*

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.

\*\*\*\*\*

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

\*\*\*\*\*

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

*Dott. Gianfranco Pradisi*

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

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

\*\*\*\*\*

### **METODI MATEMATICI DELLA FISICA 3 (6 Cfu)**

*Dott. Yassen Stanev*

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. Varietà e forme differenziali. Omologia e coomologia. Varietà riemanniane. Calcolo tensoriale. Connessione e curvatura. Fibrati e classi

caratteristiche. Applicazioni: monopoli, istantoni, anomalie, teorie di gauge e relatività generale.

\*\*\*\*\*

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

*Dott. Pierluigi Belli*

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

\*\*\*\*\*

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

*Dott. Davide Badoni*

Introduzione al progetto analogico.

Modelli semplificati per circuiti elettronici a dispositivi attivi.

Fisica di base del dispositivo "MOSFET".

Panoramica sui dispositivi, tecnologie di processo CMOS.

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 transconduttanza, a transresistenza.

Circuiti di base nella progettazione analogica.

Amplificatori a singolo stadio.

Specchi di corrente.

Amplificatore Operazionale a Transconduttanza (OTA).

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

Generatori di riferimento di tensione e di corrente.

Esempi applicativi:

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

\*\*\*\*\*

### **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 alla Tecnologia su scala Nanometrica, alle Tecniche di Superficie in Ultra Alto Vuoto e alla Struttura delle Superfici Solide. Le Tecniche di Microscopia a Scansione in particolare la Microscopia a Scansione a Effetto Tunnel, La Microscopia a Forza Atomica e il Microscopio Ottico a Scansione a Effetto di Campo Vicino.

Sono individuati i principi di funzionamento delle diverse tecniche atte all'acquisizione di immagini topografiche e informazioni spettroscopiche con particolare attenzione ai possibili artefatti della tecnica e alle tecniche di acquisizione e analisi. Saranno illustrati alcuni dei principali risultati ottenuti con queste tecniche. 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) e le tecniche Ottiche sensibili alla superficie (Epiottica) quali la Spettroscopia di Riflessione 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. Il corso comprende: lezioni teoriche, per lo studio dei principi teorici di base, lezioni pratiche in laboratorio, per l'acquisizione dell'uso delle diverse tecniche sperimentali ed infine una parte relativa all'analisi dei dati registrati in laboratorio e alla stesura di relazioni scientifiche.

\*\*\*\*\*

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

*Dott. 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). Inferenza statistica, sensibilità e specificità di test diagnostici. Trasduttori ed elettrodi. Rumore ed interferenza, amplificatory 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

### **Measurement 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. Tme-frequency Analysis (STFT, Wavelets, Matching Pursuit). 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.*

\*\*\*\*\*

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

*Dott.<sup>ssa</sup> Chiara Cagnazzo*

- computational science basis, errors and uncertainties, integration, differentiation, differential equations



applications, (se si riesce: fourier, wavelet analysis)

Books: Landau, Boredianu, Paiez e altro

- Basic concepts of discretization, advection schemes, 3D primitive equations, spectral method on the sphere, vertical discretization, time integration, global nonhydrostatic models, model physical parameterizations (the Radiation Code of a GCM, convection, surface fluxes, turbulent mixing)

books: -Satoh –Mesinger – Kasahara

- Introduction to climate models, analysis and evaluation of climate models: the morphology of climate, budgets balances and cycles, process studies (ENSO, monsoon, blocking, convective processes)

books: von Storch e altro materiale

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

Materiale vario

\*\*\*\*\*

## **MODERN APPLIED PHYSICS (8 Cfu)**

Prof. Claudio Goletti

**The origin of quantum physics:** Electromagnetic radiation, blackbody radiation, photoelectric emission, Compton effect, radiation-matter interaction, particles and wave packets, Heisenberg uncertainty principles.

**Atoms and electrons:** Wave function and probability density, Schrodinger's equation, the hydrogen atom, the spectrum of the Hydrogen, the helium atom, the exclusion principle and the electronic structures of atoms, quantization of angular momentum, wave-electron under central forces, the Zeeman effect, electron spin, spin-orbit interaction. X ray spectra. **X-ray diffraction.**

**Molecules:** the Hydrogen molecule ion, orbitals of diatomic molecules, electronic configuration, polyatomic molecules, conjugated molecules, molecular rotations, molecular vibrations, electronic transitions in molecules. **Raman experiment.**

**Solids:** types of solids, band theory of solids, free electron model, electron motion in a periodic potential, conductors, insulators and semiconductors, quantum theory of electrical conductivity, radiative transitions in solids. **Auger experiment or Photoemission experiment.**

**Optics of solids:** The nature of the light, Poynting vector, Macroscopic field and Maxwell's equation, the wave equation and its propagation in media, reflection and refraction at the boundary of absorbing media, the Brewster angle, Young's experiment, Fourier transform spectroscopy, elementary theory of atomic spectra, radiative transition and selection rules, atomic-energy level in solids, stimulated emission, light amplification in a medium, Laser, solid state laser.

**Sub-microscopy imaging:** the fundamental concepts of electron microscopy, SEM and TEM, sample preparation, applications, limits. The born of Scanning Tunnel Microscopy, the instrumentation, principle of operation. Atomic Force microscopy, the principle of operation, The advantages and the limits.

**Detection of an STM pattern.**

\* The course consist in 6 CFU of theory and 2 CFU dedicated to perform the four experiments indicated in bold in the program. Each experiment requires to spend three afternoon in laboratory and write down a short relation of the work done.

\*\*\*\*\*

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

Prof. Carlo Schaerf

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 transistions. 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.

\*\*\*\*\*

**ONDE GRAVITAZIONALI (6 Cfu)**

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

Richiami di Relatività generale e di teorie metriche della gravitazione: quantità osservabili. Sorgenti astrofisiche di onde gravitazionali, forme d'onda previste ed informazioni ottenibili sperimentalmente. Fondo stocastico. Rivelatori terrestri e spaziali. Tecniche sperimentali utilizzate nei rivelatori risonanti e nei rivelatori interferometrici.

**Gravitational Waves**

*Review of general relativity and of metric theories of gravitation: observable quantities. Astrophysical sources of gravitational waves, waveshapes and information obtainable experimentally. Stochastic background. Ground-based and space detectors. Experimental techniques used in resonant detectors and in interferometric detectors.*

\*\*\*\*\*

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

*Prof. Mauro Casalboni*

Dal campo elettromagnetico alla luce. Il potenziale vettore. I modi di una cavità. I coefficienti di Einstein. 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 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

### **TESTI CONSIGLIATI:**

Quantum theory of light – Loudon

QUD – Feynmann (divulgativo/introdotivo)

\*\*\*\*\*

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

*Dott. Alessandro Cianchi*

Mutuato dal corso di Acceleratori di Particelle

Brief historic background. Charged particles motion in electric and magnetic fields. Circular and linear accelerators. Betatron and cyclotron. Beam dynamics with and without radiation. Hill equation. Twiss parameters. Transport matrix. Space charge. Fundamental parameters of a particle beam. Phase space and Liouville theorem.

Synchrotron radiation. Introduction to Free electron Laser physics.

The problems related with the particle acceleration. The limit of the present accelerating structures.

Brief introduction to the new accelerating technique: laser plasma acceleration. Particle beams diagnostic.

### **Acceleratori di Particelle**

*Cenni storici sullo sviluppo degli acceleratori. Moto di particelle cariche in campi elettrici e magnetici. Acceleratori circolari e lineari. Betatroni e ciclotroni. Dinamica del fascio con e senza irraggiamento. Equazione di Hill. Parametri di Twiss. Matrici di trasporto. La carica spaziale. Parametri fondamentali dei fasci di particelle. Spazio*

delle fasi e teorema di Liouville.

La radiazione di sincrotrone. Introduzione alla fisica dei Free Electron Laser.

La misura dei parametri di un fascio di particelle.

Problematiche inerenti l'accelerazione delle particelle. Limiti delle attuali tecniche. Cenni sulle nuove tecnologie di accelerazione: l'accelerazione a plasma.

\*\*\*\*\*

## **PLANETOLOGIA (6 Cfu)**

Dott.<sup>SSA</sup> Elisabetta Dotto

L'origine del Sistema Solare. Classificazione dei pianeti: proprietà generali, lune, sistemi di anelli. La struttura dinamica del Sistema Solare. Interni planetari. Superfici, atmosfere e magnetosfere planetarie. Riscaldamento solare ed energia di trasporto. I corpi minori: oggetti trans-nettuniani, comete, asteroidi, meteoroidi e sciami meteorici. Missioni spaziali planetarie. Sistemi planetari e pianeti extra-solari.

### **Planetology**

Origin of the Solar System. Classification of planets: general properties, moons, ring systems. Dynamic structure of the Solar System. Planetary interiors. Planetary surfaces, atmospheres and magnetospheres. Solar heating and transport energy. Minor bodies: trans-neptunian objects, comets, asteroids, meteors and meteor swarms. Planetary space missions. Extra-solar planets and planetary systems.

\*\*\*\*\*

## **POPOLAZIONI STELLARI (6 Cfu)**

Prof. Giuseppe Bono

La Galassia. Strutture Stellari. Termodinamica degli Interni Stellari. Fasi di Bruciamento di Idrogeno. Fasi di Bruciamento di Elio. Variabilità Stellare. Osservabili Stellari di Interesse Cosmologico. Nucleosintesi.

### **Stellar Populations**

The Galaxy. Stellar Structures. Thermodynamics of stellar interiors. Hydrogen Burning Phases. Helium Burning Phases. Stellar Variability. Stellar Observables with a Cosmological impact. Nucleosynthesis.

\*\*\*\*\*

## **PROCESSI RADIATIVI IN ASTROFISICA (6 Cfu)**

Prof. Pasquale Mazzotta

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

### **Radiative Processes in Astrophysics**

*Fundamentals of radiative transfer. Thermal radiation. The Einstein Coefficients. Basic theory of radiation fields. Radiation from moving charges. Lienard-Wiechart potentials. Thomson scattering. Relativistic covariance and kinematics. Bremsstrahlung. Synchrotron radiation. Compton scattering. The Sunyaev-Zeldovich effect.*

\*\*\*\*\*

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

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

The Schroedinger equation. Operators and matrices. Dirac equation. Pauli matrices. Angular momentum. Spin. Variational and WKB methods. Time independent and time dependent perturbation theory. Scattering theory. Many electrons systems. The Born-Oppenheimer approximation. Thomas-Fermi approximation. Hartree and Hartree-Fock methods. Density functional theory. Density matrix. The Path integral formulation.

\*\*\*\*\*

### **RADIOATTIVITÀ (6 Cfu)**

*Prof.<sup>ssa</sup> Rita Bernabei*

La radioattività: principi e applicazioni. Unità di misura. Modi di decadimento radioattivo e radiazioni associate. Legge del decadimento radioattivo. Le catene radioattive. L'equazione secolare. La statistica nelle misure di radioattività. La fissione e la fusione. L'origine degli elementi. La radioattività naturale e le radiazioni naturali. Interazione radiazione materia. Elementi sui rivelatori di radiazioni. Effetto biologico delle radiazioni. Dosimetria e unità di misura. Cenno alle norme di legge. Schermatura delle radiazioni. Misura della radioattività ambientale. Tecniche per la selezione di materiali. Tecniche di radio-datazione. Alcuni usi di radiazioni in medicina.

### **Radioactivity**

*The radioactivity: principles and applications. Units of measurements. Decay modes and associated radiations. Law of the radioactive decay. Radioactive chains. The secular equilibrium. Statistics of radioactive measurements. Fission and fusion. Origin of the elements. Natural radioactivity and natural radiations. Interaction of radiations with matter. Elements on radiation detectors. Biological effects of the radiations. Dosimetry and units of measurements. Elements on restrictions by the laws. Shielding the radiations. Measurements of environmental radioactivity. Techniques for materials selections. Radiodating techniques. Applications of radiations in medicine.*

\*\*\*\*\*

### **RELATIVITÀ E COSMOLOGIA I (6 Cfu)**

*Prof. Nicola Vittorio*

Il principio di equivalenza. Campi gravitazionali deboli. Moto geodetico. Significato fisico della metrica. Arrossamento delle righe spettrali. Forze inerziali. Tensori. Derivazione covariante. Il tensore di Riemann-Christoffel. Equazione di campo nel vuoto. Il tensore energiaimpulso. Equazione di campo in

presenza di materia. Leggi di conservazione. La soluzione di Schwarzschild. Coordinate isotrope. Moto planetario. Deflessione della luce. L'espansione di Hubble.

La radiazione cosmica di fondo. La metrica di Friedman-Robertson-Walker. Nucleosintesi primordiale degli elementi leggeri. Il problema della distanza in Cosmologia. Il modello standard in cosmologia e gli scenari inflazionari.

### **Relativity and Cosmology I**

*Fundamentals of general relativity and gravitational physics. Schwarzschild solution. Gravitational collapse. Black holes. Gravitational waves. Cosmic geometry, kinematics and dynamics, FRW models. Black body and thermodynamic equilibrium. Cosmic radiation background. Primordial nucleosynthesis.*

\*\*\*\*\*

### **RELATIVITÀ E COSMOLOGIA 2 (6 Cfu)**

*Prof. Nicola Vittorio*

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

### **Relativity and Cosmology 2**

*Equation of instabilities in the newtonian limit. Jeans wavelength. Diffusion and free-streaming phenomena. Correlation function and power spectrum of density fluctuations. Gaussian statistic and initial conditions. Evolution of the power spectrum in cosmological models. Galaxy correlation function. Dipole anisotropy of the cosmic background and the "great attractor". Intensity and polarization anisotropies of the cosmic background. Sachs-Wolfe effect. Results from satellites (COBE and WMAP) and balloons (BOOMERANG, MAXIMA, B2K). Redshift Surveys.*

\*\*\*\*\*

### **SOLE E CLIMATOLOGIA SPAZIALE (6 Cfu)**

*Prof. Francesco Berrilli*

La struttura interna del sole quieto, reazioni nucleari ed il problema dei neutrini. Eliosismologia, tachocline e dinamo solare. La convezione turbolenta nel Sole: nuovo paradigma. La superficie solare: Sole quieto ed attivo. Lo spettro solare: formazione delle righe spettrali. Dinamica fotosferica e cromosferica. Dalla cromosfera alla corona solare: il problema del riscaldamento coronale. Flare ed Emissioni di Massa Coronale (CME). L'irradianza solare, la sua variabilità spettrale e temporale ed il clima terrestre. Telescopi per la Fisica Solare.

### **Sun and Space Climate**

*Internal structure of quiet Sun, nuclear reactions and the problem of neutrinos. Heliosismology, tachoclines and solar dynamo. Turbulent convection in the Sun: new paradigm. The solar surface: quiet and active Sun. The solar spectrum: formation of spectral lines. photospheric and chromospheric dynamics. From chromosphere to solar corona: the problem of coronal heating. Flares and coronal mass emissions (CME). Solar irradiance, its spectral and temporal variability and the Earth climate.*

\*\*\*\*\*

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

*Dott. Marco Casolino*

The first part of the course intends 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 will be the main treated arguments.

The second part of the course aims to grant the students with an understanding of basic detection techniques for space research and their application in other fields of science, medicine and industry. 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 and neutrinos detection. An instrument orbiting in space will be examined in detail.

\*\*\*\*\*

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

*Prof. Domenico Marinucci*

The course aims at providing an overview of modern techniques in mathematical statistics which are most relevant in Science and Technology. Special emphasis is devoted to nonparametric methods, allowing to deal with infinite-dimensional parameters. The basic topics covered may vary from year to year, but a tentative list includes:

Introduction: probability inequalities, modes of convergence, consistency, central limit theorems.

Basic asymptotic theory: asymptotic Gaussianity for point estimation, maximum likelihood, hypothesis testing, linear models. Weak convergence and empirical processes: application to goodness-of-fit tests.

Nonparametric kernel density estimation: consistency, asymptotic Gaussianity, optimal choice of bandwidth. Nonparametric regression. Non linear wavelet density estimation: the minimal approach.

Estimation for time series and stationary processes: spectral density, Whittle likelihood.

\*\*\*\*\*

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

*Prof. Massimo Fanfoni*

Reticoli spaziali e reciproci. Autostati di un potenziale periodico. Teorema di Bloch. Bande elettroniche

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

\*\*\*\*\*

### **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.

\*\*\*\*\*

### **TECNICHE SPERIMENTALI DELLA FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE (6 Cfu)**

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

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

#### ***Experimental Techniques for Nuclear and Subnuclear Physics***

*Where we stand in particle physics. The Large Hadron Collider and its physics output. Review of cosmic ray physics experiments. Latest technologies in particle physics: modern detectors and future projects of particle accelerators. Modern DAQ systems. Monte Carlo techniques for simulation of physics process. Use and application of Geant4. Use and application of ROOT for data analysis.*

\*\*\*\*\*

### **TELERILEVAMENTO (8 Cfu)**

*Dott. Gianluigi Liberti*

Aspetti teorici: definizioni, trasporto radiativo. Aspetti tecnico-strumentali: Orbite dei satelliti, Geometrie di scansione, Tipologie di strumenti. Applicazioni: Atmosfera: Nubi, Precipitazioni, Contenuti integrati di gas, Parametri d'instabilità, aerosols, vento. Superficie: Temperatura, albedo e riflettanza, copertura e vegetazione clorofilla, flussi radiativi e turbolenti.

\*\*\*\*\*



**TEORIA DEI CAMPI E PARTICELLE I (6 Cfu)***Prof. Roberto Petronzio*

Teorie di gauge non abeliane. Azione effettiva. Integrale funzionale: metodo di FaddeevPopov. Rinormalizzazione e simmetria BRS. Identità di Slavnov-Taylor. Libertà asintotica. Rottura spontanea di simmetria. Modello sigma non lineare. Meccanismo di Higgs. Anomalia chirale. Cenni sul gruppo di rinormalizzazione.

\*\*\*\*\*

**TEORIA DEI CAMPI E PARTICELLE 2 (6 Cfu)***Prof. Roberto Petronzio*

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

\*\*\*\*\*

**TEORIA DEI SISTEMI A MOLTI CORPI (8 Cfu)***Prof. Giancarlo Rossi*

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

\*\*\*\*\*

**TEORIA DEI SOLIDI (6 Cfu)***Prof. Michele Cini*

Teoria dei Gruppi con applicazioni alla materia condensata (orbitali, vibrazioni, spin, effetto Jahn-Teller –reticoli simmorfici e non simmorfici– 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 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. Superconduttività ad alta temperatura critica - Effetto Hall quantistico - Nanotubi e fullerene - Trasporto quantistico

TESTO CONSIGLIATO:

Michele Cini - Topics and Methods in Condensed Matter Theory, Springer Verlag.

\*\*\*\*\*

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

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

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

\*\*\*\*\*

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

*Prof. Massimo Bianchi*

Buchi neri. Diagrammi di Penrose. Termodinamica dei buchi neri. Radiazione di Hawking. Generalizzazioni a  $D>4$ . Supergravità  $N=1$ . Accoppiamenti di materia e rottura spontanea della supersimmetria locale. Cenni sulle supergravità estese e in  $D>4$ . Supergravità in  $D=11$ .

\*\*\*\*\*

### **TERMODINAMICA DEI PROCESSI IRREVERSIBILI (6 Cfu)**

*Dott. Giuseppe Consolini*

Sistemi termodinamici all'equilibrio: richiami di termodinamica dell'equilibrio, , approccio di Carathéodory e di Gibbs, Le equazioni fondamentali, I e II legge della termodinamica, relazioni di Maxwell e di Gibbs-Duhem, criteri di stabilità e principi per l'equilibrio estremo. Sistemi termodinamici non all'equilibrio: a) fenomeni irreversibili lineari, equilibrio locale, leggi di conservazione ed equazioni per il bilancio, formulazione locale della seconda legge della termodinamica ed equazione per il bilancio dell'entropia, equazioni fenomenologiche, relazioni di reciprocità di Onsager, principio di Curie - Prigogine, stati stazionari di non equilibrio, fondamento statistico e relazioni di reciprocità, risposta lineare e teorema di fluttuazione e dissipazione; b) fenomeni irreversibili nonlineari, reazioni chimiche e fenomeni di rilassamento, reazioni chimiche accoppiate, reazioni unimolecolari. principio del bilancio dettagliato, equazione di Lotka-Volterra e reazioni oscillanti, multistazionarietà ed insorgenza del caos.

\*\*\*\*\*

### **TEORIE DI GAUGE SU RETICOLO (6 Cfu)**

*Dott. Nazario Tantalò*

Il corso discute in dettaglio la tecnica della discretizzazione dello spazio-tempo come strumento per la soluzione delle equazioni differenziali della fisica; la formulazione euclidea di una teoria di campo e la regolarizzazione reticolare per campi di spin 0, 1/2 e per i bosoni vettori delle interazioni di gauge; la teoria delle interazioni forti sul reticolo e la dimostrazione numerica di Wilson del fenomeno del confinamento dei quarks e dei gluoni; il calcolo delle masse degli stati adronici e gli elementi di matrice della Hamiltoniana debole tra tali stati; la rinormalizzazione di osservabili regolarizzate con un reticolo.

Nel corso saranno anche descritte le tecniche algoritmiche più comunemente usate per estrarre

informazioni quantitative dallo studio di sistemi statistici complessi tra cui, in particolare, una teoria di gauge sul reticolo.

\*\*\*\*\*

### **UNDERGROUND TECHNOLOGIES (6 Cfu)**

*Dott. Pierluigi Belli*

*Mutuato dal corso Metodologie Sperimentali per la Ricerca dei Processi Rari*

Main research fields in underground Laboratories. Techniques for measurements and reduction of radioactive trace contaminants in detectors' materials. Techniques for suppression of various sources of background. Intrinsic limitations of reduction procedures. Detectors requirements for specific fields of underground research. Detectors developments and perspectives.

\*\*\*\*\*

### **VISIBLE AND INFRARED OBSERVATION FROM SPACE (6 Cfu)**

*Dott.<sup>ssa</sup> Anna Maria Di Giorgio*

The course starts with a basic introduction to astronomical measurements and astronomical instrumentation from space. It includes a survey of the modern techniques of radiation measurement including photometry, spectroscopy, direct imaging and interferometry at visual and infrared wavelengths. The reasons for making astronomical observations from space and the practical requirements for placing instruments in space are presented. The course includes a survey of the most recent and successful space missions, with a particular attention to the most relevant scientific results.