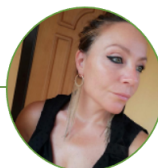


**Coordinatore del Corso di Laurea**  
*Prof. Francesco Berrilli*  
Email: francesco.berrilli@roma2.infn.it



**Resp.le della Segreteria Didattica**  
*Samanta Marianelli*  
Email: samanta.marianelli@uniroma2.it



<https://www-2022.scienze.uniroma2.it/2022/10/17/flsioa/>

**Il Corso di laurea in Fisica si inquadra nella Classe delle Lauree in Fisica (Classe L-30 ".....") ed afferisce al Dipartimento di Fisica. La durata del Corso di Laurea (CdL) è normalmente di tre anni.**

### L'ORIZZONTE CULTURALE

La FISICA è la scienza che studia i fenomeni naturali tramite osservazioni sperimentali e misurando le grandezze che li determinano, allo scopo di individuare le relazioni tra queste e le leggi che li governano; lo studio della Fisica è basato sul metodo sperimentale e sulla formalizzazione delle leggi tramite il linguaggio matematico.

### IL CORSO DI STUDI IN BREVE

Il percorso formativo si propone di garantire l'acquisizione di solide basi teoriche e pratiche negli ambiti culturali della fisica. A questo fine viene anche fornita una buona conoscenza della Matematica.

Ad ogni studente immatricolato che ne fa richiesta viene assegnato un docente tutor che lo segue e lo consiglia durante tutto il percorso formativo. La durata del corso di laurea in Fisica è di tre anni accademici ed è proposto in curricula:

- FISICA
- FISICA DELL'ATMOSFERA E DEL CLIMA E METEOROLOGIA

Entrambi i curricula sono organizzati in modo da provvedere:

- conoscenza **matematica di base** (calcolo e geometria), dei metodi matematici per la fisica, dell'analisi numerica;
- conoscenza della **fisica di base classica**: meccanica, termodinamica, elettromagnetismo, ottica, relatività, fenomeni ondulatori;
- conoscenza degli elementi di base di **fisica teorica**: meccanica analitica, meccanica quantistica, meccanica statistica;
- conoscenza di elementi di **materie correlate** (chimica; elettronica);
- conoscenza degli elementi di base di **fisica moderna** (fisica atomica e molecolare, dello stato solido, nucleare e delle particelle elementari);
- possibilità di approfondire **tematiche specifiche** di fisica da una lista (attraverso gli esami a scelta) comprendente fra altri fisica dell'atmosfera, biofisica, astrofisica, meteorologia;
- esperienza diretta delle **tecniche di laboratorio e delle tecniche informatiche di calcolo**.

### MODALITA' DI ACCESSO

L'iscrizione al corso di laurea in Fisica è libera, ma subordinata alla partecipazione ad una prova di **verifica delle conoscenze di base** (test), come previsto dalla normativa vigente (DM 270/2004 - art. 6, comma 1). La verifica avviene mediante un **test di verifica non selettivo**, il cui esito non preclude la possibilità di immatricolarsi, ma ha lo scopo di verificare il grado di possesso delle conoscenze indispensabili e segnalare in anticipo allo studente eventuali carenze.

Il test si svolge in modalità remota on-line e consiste di 20 domande (15 di matematica di base e 5 di logica); può essere svolto in qualunque momento, contestualmente all'iscrizione e va completato in 50 minuti.

### DATE PER L'IMMATRICOLAZIONI AL CDL IN FISICA

<u>Termine preiscrizione:</u>	come indicato sul bando di ammissione al corso di laurea.
<u>Data Test:</u>	il test <b>si svolgerà in modalità "a distanza"</b> contestualmente alla immatricolazione, su una piattaforma web appositamente predisposta.
<u>Pubblicazione graduatoria:</u>	come indicato sul bando di ammissione al corso di laurea.
<u>Scadenza immatricolazioni:</u>	come indicato sul bando di ammissione al corso di laurea.
<u>Inizio delle lezioni:</u>	<b>02 ottobre 2023</b>

### TRASFERIMENTI

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

## OBIETTIVI FORMATIVI

Gli obiettivi formativi specifici del corso di laurea in Fisica sono strettamente correlati alle discipline fondamentali, che forniscono una preparazione di base sia per l'inserimento nel mondo del lavoro che per la prosecuzione degli studi per il conseguimento della Laurea Magistrale e del Dottorato di Ricerca o attraverso corsi di Master.

La laurea in Fisica è conferita agli studenti che abbiano conseguito i risultati di apprendimento descritti nel seguito secondo i "descrittori di Dublino".

Questi risultati sono conseguiti attraverso la frequenza a corsi e laboratori. I corsi sono suddivisi di norma in una parte teorica e una parte costituita da esercitazioni volte alla soluzione di problemi; la verifica dell'apprendimento si basa su prove scritte (che possono essere svolte in itinere e alla fine del corso) ed esami orali.

I corsi di laboratorio prevedono una parte introduttiva ex-cathedra e una parte svolta in laboratorio dagli studenti, suddivisi in piccoli gruppi, sotto la guida dei docenti; la verifica dell'apprendimento si basa su relazioni di laboratorio, di gruppo e/o individuali, elaborate di norma durante il corso, ed esami orali. I corsi di laboratorio comprendono anche attività di tirocinio formativo, alle quali possono aggiungersi altre attività specifiche di orientamento al mondo del lavoro.

La quota dell'impegno orario complessivo a disposizione dello studente per lo studio personale o per altra attività formativa di tipo individuale è pari ad almeno il 60% dello stesso.

Nello specifico, l'ordinamento didattico propone:

- 1) nel primo biennio corsi di matematica (o informatica) e di chimica, preparatori allo studio della fisica, per un totale di almeno 18+6 CFU rispettivamente;
- 2) corsi di fisica classica e di fisica moderna, divisi tra attività di base e caratterizzanti, come specificato quantitativamente nei quadri successivi per ciascun settore scientifico disciplinare;
- 3) tra i corsi di matematica, informatica e fisica, indicativamente in ogni semestre vi sarà un corso obbligatorio di laboratorio (informatica, fisica classica e moderna, elettronica).

## RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI, ESPRESSI TRAMITE I DESCRITTORI DI DUBLINO DEL TITOLO DI STUDIO

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

I laureati devono avere una buona comprensione delle più importanti teorie della fisica e una discreta conoscenza dei fondamenti della fisica moderna, così come dei più importanti metodi sperimentali.

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

I laureati devono essere capaci di applicare le loro conoscenze e capacità di comprensione in maniera da dimostrare un approccio professionale al loro lavoro, e devono possedere competenze adeguate sia per ideare e sostenere argomentazioni che per risolvere problemi nel proprio campo di studi.

Devono essere in grado di identificare gli elementi essenziali di un problema fisico semplice e saperlo modellizzare, effettuando le approssimazioni necessarie. Essere in grado di comprendere e utilizzare metodi matematici analitici e numerici adeguati alle tematiche fisiche affrontate.

#### Autonomia di giudizio (making judgements)

I laureati devono sviluppare la capacità di raccogliere ed interpretare i dati sperimentali, avendo acquisito esperienza pratica con apparati di misura moderni ed essendo in grado di utilizzare adeguatamente gli strumenti di calcolo; capacità di stimare gli ordini di grandezza e isolare i fattori principali che influiscono sulla precisione del risultato di una misura. Queste capacità sono acquisite nei corsi di laboratorio di Fisica, che prevedono l'insegnamento dell'elaborazione e analisi dei dati, e sono verificate mediante l'elaborazione di relazioni (obbligatorie), nelle quali gli studenti devono elaborare i dati in modo autonomo.

I laureati devono inoltre essere in grado di analizzare criticamente i dati sperimentali, di fare ricerche bibliografiche autonome utilizzando libri di contenuto fisico e tecnico, sviluppando anche una familiarità con le riviste scientifiche di settore. Infine devono essere in grado di utilizzare per la ricerca scientifica gli archivi elettronici disponibili sul WEB, operando la necessaria selezione dell'informazione disponibile.

#### Abilità comunicative (communication skills)

I laureati in Fisica devono sviluppare l'abilità nel comunicare efficacemente informazioni, idee, problemi e soluzioni in forma orale e scritta, a uditori sia specialistici che generici, anche utilizzando la lingua inglese e le tecnologie messe a disposizione dall'informatica. Gli studenti devono imparare a comunicare, in forma orale e scritta, il contenuto dei propri studi o i risultati di una ricerca bibliografica, ad un pubblico sia di specialisti che di profani. Tale capacità viene accertata in fase di esame e/o di prova in itinere. In particolare, le relazioni di laboratorio devono mostrare la capacità degli studenti di esprimere concetti scientifici. Gli studenti possono opzionalmente formulare relazioni ed esami in lingua inglese. Devono comunque mostrare obbligatoriamente la propria capacità di esprimere concetti scientifici in inglese, mediante un esame di idoneità specifico.

#### Capacità di apprendimento (learning skills)

I laureati devono aver acquisito una comprensione della natura e dei modi della ricerca in fisica e di come questa sia applicabile a molti campi, anche diversi dalla fisica stessa, così da essere in grado di affrontare nuovi argomenti in modo autonomo.

Devono inoltre acquisire capacità di apprendimento che consentano di accedere ai corsi di studio di secondo livello e che comunque li pongano in grado di aggiornarsi autonomamente nelle materie di competenza.

Oltre alle relazioni di laboratorio, tutti i corsi includono prove finali e/o in itinere, di norma scritte, che accertano la capacità di apprendimento degli studenti, sia guidate, sia autonome. La prova finale, costituisce una ulteriore verifica delle capacità di apprendimento ed esposizione autonome dello studente.

#### Ambiti occupazionali previsti per i laureati

- Accesso senza debiti ad almeno un corso di Laurea Magistrale.
- Accesso a professioni tecniche in organizzazioni governative o settori privati (banking, compagnie di

assicurazione, servizi) a livelli decisionali intermedi.

- Impiego nell'industria come assistenti tecnici ad esempio in settori quali elettronica, software, telecomunicazioni, materiali.
- Impieghi nel settore delle scienze e tecnologie informatiche.
- Insegnante in organizzazioni private.

Il corso prepara alle professioni di Tecnici fisici.

## STRUTTURA DELLA DIDATTICA

### Frequenza

Gli insegnamenti hanno una durata semestrale e/o annuale.

### Tirocini/Stage

L'attività di tirocinio/stage è facoltativa nel corso di laurea in Fisica. L'Ateneo ha attivato un servizio di assistenza per i tirocini esterni (<http://www.scienze.uniroma2.it/?cat=19&catParent=16>).

Gli studenti della Laurea Triennale in Fisica potranno effettuare un tirocinio (stage) nell'ambito delle attività a scelta libera. Il lavoro di stage deve avere una durata minima di circa 150 ore, dà diritto a 6 crediti formativi (6 CFU) e sostituisce 1 esame a scelta libera. Lo stage può essere svolto:

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

Come regola generale lo stage deve essere prima concordato con il Coordinatore del CdS, il quale dovrà:

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

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

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

Nel caso 1. in cui il docente responsabile dello svolgimento dello stage afferisca ad un Dipartimento diverso dal Dipartimento di Fisica, 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.

## CURRICULA E PIANI D STUDI

Al termine del I anno di corso gli studenti devono segnalare, alla Segreteria Didattica del Corso di Studi (CdS), quale curriculum intendono seguire.

Gli studenti che seguono gli ordinamenti degli studi proposti dal Consiglio di Dipartimento (CdD) **non hanno** l'obbligo di presentare un piano di studio.

Negli ordinamenti degli studi proposti due esami sono a scelta libera dello studente, per un totale di 12 cfu. Si suggerisce di scegliere questi esami tra gli esami dell'elenco a pag. 9 e 10.

Tra gli esami a scelta completamente libera sono disponibili gli insegnamenti extra-curricolari nel settore scientifico disciplinare Fis/08, di cui si può chiedere il riconoscimento nell'ambito del percorso formazione 24 CFU per la formazione degli insegnanti.

Tutti gli studenti dovranno comunicare la propria scelta degli esami a scelta libera al CdD, che ne prenderà atto e valuterà il carattere scientifico del corso scelto.

Si precisa che gli studenti potranno scegliere anche un numero diverso di corsi a scelta libera e una distribuzione diversa dei crediti (e seguirli nell'anno e nei semestri che preferiscono), purchè il numero totale di crediti sia almeno 12.

Gli studenti infine possono presentare un piano di studio individuale, che deve essere "coerente con gli obiettivi del Corso di Laurea e con l'Offerta Formativa" (vedi Regolamento del Corso di Laurea in Fisica). Il piano di studio individuale deve essere sottomesso al CdD per l'approvazione e potrà essere successivamente modificato dallo studente, previa nuova approvazione del CdD.

## PROVA FINALE

La prova finale consiste nella discussione di una relazione scritta (tesi triennale), 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 triennale 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.

Una copia del modulo dovrà essere consegnata presso la Segreteria Didattica del CdS (Macroarea di Scienze) con il nome del docente relatore ed il titolo della tesi.

1. La relazione scritta dovrà essere consegnata alla Segreteria Didattica del CdS almeno **sette giorni** prima della seduta di laurea.
2. La discussione della tesi avviene in seduta pubblica davanti ad una Commissione di cinque docenti che esprime la valutazione complessiva in centodecimi, eventualmente anche con la lode, tenendo conto della media dei voti riportati negli esami, del curriculum complessivo dello studente (comprese le lodi conseguite e le esperienze internazionali), del lavoro di tesi e della relativa discussione. La media dei voti riportati negli esami sarà pesata con i relativi CFU acquisiti e trasformata in centodecimi. Sono esclusi dal computo gli 8 CFU della prova finale e i 4 CFU dell'esame di Inglese, per il quale è prevista l'idoneità.

La valutazione finale della commissione potrà essere fino a 7/110 più alta della media dei voti riportati negli esami.

3. 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:

24 cfu se lo studente si laurea in corso

12 cfu se lo studente si laurea durante il primo anno fuori corso

6 cfu in tutti gli altri casi

Per gli studenti immatricolati prima dell'A.A. 2010/11, nella formazione della media non si terrà conto dei voti più bassi per un massimo di 12 cfu.

Agli studenti che superano i 110 punti può essere attribuita la lode, su proposta scritta del docente relatore, con voto unanime della commissione.

**ORDINAMENTO DEGLI STUDI - OFFERTA FORMATIVA**

## Curriculum "FISICA"

**1° ANNO****I° semestre**

[B]	Mat/05	Calcolo 1	12 cfu
[B]	Mat/03	Geometria	12 cfu
[--]	L-lin/12	Inglese	4 cfu

**II° semestre**

[B]	Fis/01	Meccanica e Termodinamica	14 cfu
[B]	Fis/01	Laboratorio di Fisica 1	10 cfu
[B]	Chim/03	Chimica	7 cfu

**2° ANNO****I° semestre**

[B]	Mat/05	Calcolo 2	9 cfu
[C]	Fis/01	Elettromagnetismo	9 cfu
[B]	Inf/01	Lab. di Calcolo Numerico e Informatica	9 cfu

**II° semestre**

[C]	Fis/01	Relatività, Onde ed Ottica	8 cfu
[C]	Fis/01	Laboratorio di Fisica 2	10 cfu
[C]	Fis/02	Meccanica Analitica	7 cfu
[ASL]	---	Corso a Scelta	6 cfu

**3° ANNO****I° semestre**

[C]	Fis/02	Meccanica Quantistica	10 cfu
[AI]	Fis/02	Metodi Matematici della Fisica	10 cfu
[AI]	Fis/01	Laboratorio di Fisica 3	8 cfu
[ASL]	----	Corso a Scelta	6 cfu

**II° semestre**

[C]	Fis/03	Fisica Quantistica della Materia 1	9 cfu
[C]	Fis/04	Elem. di Fisica Nucleare e Subnucleare	6 cfu
[C]	Fis/02	Meccanica Statistica	6 cfu
		Prova Finale	8 cfu

Tra i corsi a scelta viene consigliato il corso di Elementi di Astrofisica.

Si fa notare inoltre che i due corsi a scelta libera, saranno verbalizzati e conteranno nella media come un unico esame (con voto pari alla media dei singoli voti, pesati con i relativi crediti). I corsi a scelta saranno considerati nel calcolo della media solo se riconosciuti di carattere scientifico dal Consiglio di Dipartimento.



## Curriculum "FISICA dell'ATMOSFERA e METEOROLOGIA"

**1° ANNO****I° semestre**

[B]	Mat/05	Calcolo 1	12 cfu
[B]	Mat/03	Geometria	12 cfu
[--]	L-lin/12	Inglese	4 cfu

**II° semestre**

[B]	Fis/01	Meccanica e Termodinamica	14 cfu
[B]	Fis/01	Laboratorio di Fisica 1	9 cfu
[B]	Chim/03	Chimica	7 cfu

**2° ANNO****I° semestre**

[B]	Mat/05	Calcolo 2	9 cfu
[C]	Fis/01	Elettromagnetismo	9 cfu
[B]	Inf/01	Lab. di Calcolo Numerico e Informatica	9 cfu

**II° semestre**

[C]	Fis/01	Relatività, Onde ed Ottica	8 cfu
[C]	Fis/01	Laboratorio di Fisica 2	9 cfu
[C]	Fis/02	Geofluidodinamica	9 cfu
[ASL]	---	Corso a scelta	6 cfu

**3° ANNO****I° semestre**

[C]	Fis/02	Meccanica Quantistica	9 cfu
[AI]	Fis/02	Metodi Matematici della Fisica	9 cfu
[AI]	Fis/06	Fisica dell'Atmosfera	9 cfu
[ASL]	---	Corso a Scelta	6 cfu

**II° semestre**

[C]	Fis/03	Fisica Quantistica della Materia 1	8 cfu
[C]	Fis/04	Elem. di Fisica Nucleare e Subnucleare	6 cfu
[AI]	Fis/06	Climatologia	9 cfu
		Prova Finale	7 cfu

**Elenco dei Corsi a Scelta (da 6 CFU se non diversamente indicato)****Primo Semestre**Fisica

SSD Fis/01 Acceleratori di Particelle (\*)

SSD Fis/07 Fisica Biologica 1 e 2 (\*)

SSD Fis/02 Metodi Probabilistici per la Fisica (\*)

SSD Fis/01 Misure ed Analisi di Biosegnali - (*Measurement and Analysis of Biosignals*) (\*)

SSD Fis/01 Physics of Energy and the Environment (\*)

SSD Fis/05 Elementi di Astrofisica (\*)

**Secondo Semestre**Matematica

SSD Mat/05 Fondamenti di Analisi Matematica (\*) (!)

SSD Mat/02 Algebra 1 (\*) (!) (8 cfu - *Mutuato dal Corso di Laurea in Matematica*)

SSD Mat/03 Complementi di Algebra e Geometria (\*) (!)

SSD Mat/04 Storia della Scienza (\*) (!) (8 CfU)

InformaticaSSD Inf/01 Fondamenti di Informatica (\*) (!) (*Mutuato dal Corso di Laurea in Informatica*)Fisica

SSD Fis/01 Acustica (\*)

SSD Fis/03 Complementi di Ottica (\*) - *Mutuato dal Corso di Laurea in Scienza dei Materiali*

SSD Fis/01 Elettronica 1 (\*)

SSD Fis/03 Fisica dei Plasmi (\*)

SSD Fis/06 Fisica dei Sistemi Dinamici (\*) (!)

SSD Fis/07 Fisica Medica (\*)

SSD Fis/02 Fisica Teorica 1 (\*)

SSD Fis/02 Fluidodinamica (\*) (!) (*corso da 6 cfu, sottoinsieme del corso Geofluidodinamica da 9 cfu*)SSD Fis/03 Materiali e Fenomeni a Basse Temperature - *Mutuato dal Corso di Laurea Magistrale in Scienza e Tecnologia dei Materiali*SSD Fis/04 Radioattività (*Radioactivity*)

SSD Fis/05 Relativity and Cosmology

Chimica

SSD Bio/10 Chimica Biologica (\*) (9 cfu)

SSD Chim/02 Chimica Fisica con Laboratorio (\*) (9 cfu)

Biologia

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

(\*) I corsi contrassegnati con un asterisco non richiedono come propedeutico il corso di Meccanica Quantistica.

(!) I corsi contrassegnati con un punto esclamativo possono essere seguiti al secondo semestre del secondo anno.

Insegnamenti extra-curricolari

SSD Fis/08 Esperimenti Didattici nella Fisica Classica e Moderna (I semestre)

SSD Fis/08 Fondamenti di Didattica della Fisica (II semestre)

## PROGRAMMI DEGLI INSEGNAMENTI

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

ACCELERATORI DI PARTICELLE - 6 CFU

*Prof. Alessandro Cianchi*

### Programma

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

### Program:

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

### Testi adottati

Viene consigliato un libro di riferimento, anche se non è necessario per gli studenti usarlo, in quanto uno dei punti salienti del corso è sviluppare la capacità di documentarsi da un insieme di fonti differenti. K. Wille, The physics of particle accelerators, Oxford University Press

### Bibliografia

Per ognuno degli argomenti specifici sono proposti differenti libri, comprese le scuole online del CERN sugli acceleratori.

D. A. Edwards M. J. Syphers, "An Introduction to the Physics of High Energy Accelerators", WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Martin Reiser, "Theory and Design of Charged Particle Beams", WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Peter Schmuser, Martin Dohlus, Jorg Rossbach, "Ultraviolet and Soft X-Ray Free-Electron Lasers", Springer

Helmut Wiedemann, "Particle Accelerator Physics", Springer

Feynman, Sands, "The Feynman Lectures on Physics", New Millenium edition

## Cern Accelerator Schools (online)

\* \* \* \* \*

## ACUSTICA - 7 CFU

*Prof. Giuseppe Pucacco* Programma

Onde in mezzi elastici fluidi e solidi. Velocità del suono. Emissione, propagazione e ricezione del suono in aria. Sorgenti sonore. Interferenza e diffrazione. Onde stazionarie. Riflessione e assorbimento del suono. Campi sonori: campo vicino e campo riverberato. Trasmissione del suono e delle vibrazioni. Sistemi lineari. Equivalenza elettrico-meccanico-acustica. Analisi armonica. Trasformate di Fourier e Laplace. Funzioni di trasferimento. Risposta in frequenza e nel tempo. Reti di trasduttori lineari. Linea di trasmissione.

 Program:

*Wavvs in solid and liquid elastic media. Speed of sound. Sound emission, propagation and detection. Acoustic sources. Interference and Diffraction. Stationary waves. Sound reflection and absorption. Sound fields: close and reverberated field. Sound and vibrations transmission. Linear systems. Electric-mechanic-acoustic equivalence. Armonic analysis. Fourier and Lapalce transformations. Transfer functions. Time and frequency response. Linear transducers networks.*

\* \* \* \* \*

## ALGEBRA 1 - 6 CFU

*Prof. Renatus Johannes Schoof (Mutuato dal corso di Laurea in Matematica)* Programma

[Programma di Algebra 1 per Fisici, sottoinsieme del corso per Matematici da 8 cfu].

Definizioni di gruppo. Sottogruppi, Gruppi simmetrici. Gruppi diedrali. Sottogruppi. Classi laterali rispetto ad un sottogruppo. Teorema di Lagrange. Teorema di Cayley. Sottogruppi normali. Gruppi quoziente. Teorema di omomorfismo per i gruppi. Teoremi di isomorfismo per i gruppi. Automorfismi. Automorfismi interni. Quoziente di un gruppo sul suo centro. Applicazioni.

 Program:

*Group definitions. Subgroups, symmetrical groups. Dietal groups. Subgroups. Lateral classes compared to a subgroup. Lagrange theorem. Cayley theorem. Normal subgroups. Quotient groups. Omomorphism theorem for groups. Isomorphism theorems for groups. Automorphisms. Internal automorphisms. Quotient of a group on its center. Applications.*

\* \* \* \* \*

## CALCOLO 1 - 12 CFU

*Prof. Daniele Guido - Prof. Tommaso Isola* Programma

- I numeri naturali, interi, razionali. I numeri reali: relazione d'ordine e l'assioma di continuità.

- Funzioni: grafico, composizione ed inversione, il grafico della funzione inversa. Funzioni limitate, massimi e minimi. Funzioni monotone, funzioni pari e dispari, funzioni periodiche. Esempi di funzioni elementari.

- Limiti di funzioni e limiti di successioni. Limiti notevoli.

- Continuità: teorema della permanenza del segno, dei valori intermedi, continuità della funzione inversa e teorema di Weierstrass.

- Derivabilità. Definizione, proprietà algebriche e derivate delle funzioni elementari.

Teorema del valor medio. I teoremi di Rolle, Lagrange e la caratterizzazione della monotonia tramite il segno della derivata. Determinazione di massimi e minimi locali.

- Derivate successive. Funzioni convesse e concave. Studio del grafico di una funzione. La formula di Taylor. Applicazione della formula di Taylor al calcolo dei limiti. Il resto di Lagrange.

- Integrale di Riemann. L'integrabilità delle funzioni continue e delle funzioni monotone. Teorema fondamentale del calcolo integrale. Tecniche di integrazione: sostituzione, integrazione per parti e decomposizione in fratti semplici e integrazione delle funzioni razionali. Integrali riducibili all'integrazione di funzioni razionali.

Integrali impropri: il criterio del confronto asintotico; convergenza assoluta.

- Serie numeriche, definizione di base ed esempi. Criteri: confronto e confronto asintotico; radice; rapporto; confronto integrale; Leibniz. Successioni di funzioni: convergenza uniforme. Le serie di potenze e la serie di Taylor.

- Numeri complessi. Rappresentazione esponenziale. Radici di un'equazione polinomiale.

- Equazioni differenziali. Cenni al teorema di esistenza ed unicità e proprietà delle soluzioni. Equazioni a variabili separabili del primo ordine. Equazioni differenziali lineari: proprietà generali e soluzioni esplicite delle equazioni lineari a coefficienti costanti. Applicazione al caso dell'oscillatore armonico: smorzato, forzato e risonante. Cenni ai sistemi di equazioni differenziali lineari e soluzione di sistemi a coefficienti costanti diagonalizzabili. Il caso degli oscillatori armonici accoppiati.



Program:

- *Natural, integer, rational numbers. The real numbers: order relation and the continuity axiom.*

- *Functions: graph, composition and inversion, the graph of the inverse function. The (local) maximum and the minimum of a function. Monotone functions, even and odd functions, periodic functions. Examples of elementary functions.*

- *Limits of functions and limits of sequences. Special limits.*

- *Continuity: theorem of the permanence of the sign, of intermediate values, continuity of the inverse function and Weierstrass theorem.*

- *Derivability. Definition, algebraic properties and derivatives of elementary functions.*

*The mean value theorem. The theorems of Rolle, Lagrange and the characterization of monotony by the sign of the derivative. Determination of local max/min.*

- *Higher derivatives. Convex and concave functions. Study of the graph of a function. Taylor's formula. Application of Taylor's formula to the calculation of limits. The rest of Lagrange.*

- *Riemann integral. The integrability of continuous functions and of monotone functions. Fundamental theorem of integral calculus. Integration techniques: substitution, by parts and decomposition into simple fractions for rational functions.*

*Integrals reducible to the integration of rational functions. Improper integrals: the criterion of asymptotic comparison; absolute convergence.*

- Numerical series, basic definition and examples. Criteria: asymptotic comparison and comparison; root; quotient; Integral comparison; Leibniz. Sequences of functions: uniform convergence. Power series and Taylor series.

- Complex numbers. Exponential representation. Roots of a polynomial equation.

- Differential equations. Introduction to the theorem of existence and uniqueness and properties of solutions. Equations with separable variables of the first order. Linear differential equations: general properties and explicit solutions of linear equations with constant coefficients. Application to the case of the harmonic oscillator: damped, forced and resonant. Introduction to systems of linear differential equations and solution of systems with diagonalizable constant coefficients. The case of coupled harmonic oscillators.

Testi consigliati

M. Bramanti C.D. Pagani, S. Salsa. Analisi Matematica 1 e 2, Zanichelli. T. M. Apostol: Calcolo

E. Giusti. Esercizi e complementi di analisi matematica Vol.1 e Vol. 2, Bollati-Boringhieri

Bibliografia di riferimento

1. M. Bramanti C.D. Pagani, S. Salsa. Analisi Matematica 1 e 2, Zanichelli.

2. M. Bertsch, R. Dal Passo, L. Giacomelli. Analisi Matematica, McGraw-Hill 2007.

3. E. Giusti. Analisi Matematica Vol. 1 e Vol. 2, Bollati-Boringhieri

4. S. Salsa, A. Squellati. Esercizi di Analisi Matematica 1 e 2, Zanichelli.

5. E. Giusti. Esercizi e complementi di analisi matematica (Vol. 1 e Vol.2), Bollati-Boringhieri

6. B.P. Demidovic, Esercizi e problemi di analisi matematica, Editori Riuniti 2010.

7. M. Bramanti. Esercitazioni di Analisi Matematica 1 e 2. Esculapio Editori.

\* \* \* \* \*

CALCOLO 2 - 9 CFU

Prof. Tommaso Isola

 Programma

**Spazi metrici.** Distanza, intorno, insiemi aperti e chiusi, convergenza. Spazi metrici compatti. Spazi metrici completi. Lemma delle contrazioni. Spazi di Hilbert. Successioni ortonormali.

**Equazioni differenziali.** Problema di Cauchy per sistemi differenziali del primo ordine, teorema di esistenza e unicità della soluzione. Alcune classi di equazioni del primo ordine. Prolungamento delle soluzioni e soluzione massimale. Dipendenza continua dai dati. Equazioni e sistemi differenziali lineari. Soluzione fondamentale. Metodo della variazione delle costanti arbitrarie. Equazioni e sistemi a coefficienti costanti. Flusso associato a un campo di vettori. Insiemi alfa-limite e omega-limite. Stabilità di un punto di equilibrio secondo Liapunov. Criterio di linearizzazione. Funzioni e teorema di Liapunov.

**Calcolo integrale per funzioni di più variabili.** Integrali multipli, teorema di Fubini, formula di cambiamento di variabile. Superfici e integrali di superficie. Formula di Gauss-Green nel piano e applicazioni. Formula di Stokes. Potenziale vettore.

**Serie di Fourier.** Coefficienti di Fourier, serie di Fourier, disuguaglianza di Bessel. Criteri di convergenza puntuale per le serie di Fourier delle funzioni regolari a tratti: casi di convergenza uniforme. Uguaglianza di Parseval. Fenomeno di Gibbs. Applicazione delle serie di Fourier alla soluzione dell'equazione del calore e delle onde su domini limitati.

**Trasformata di Fourier.** Trasformata di <sup>14</sup> funzioni sommabili, proprietà algebriche e

differenziali della trasformata. Lemma di Riemann-Lebesgue.

Trasformata di una convoluzione e inversione della trasformata. Trasformata di funzioni a decrescenza rapida. La trasformata nella classe delle funzioni di quadrato sommabile e teorema di Plancherel. Teorema di Shannon. Applicazione della trasformata di Fourier alla soluzione di equazioni differenziali ordinarie, dell'equazione del calore e di quella delle onde su domini illimitati.

 Program:

**Metric spaces.** Distance, neighborhoods, open and closed sets. Compact metric spaces. Completeness. Contraction mapping theorem. Hilbert spaces and orthonormal sequences.

**Differential equations.** Cauchy problem for first order systems, existence and uniqueness of the solution. Some special first order equations. Continuation of solutions and maximal solutions. Continuous dependence on initial data. Linear differential equations and systems. Fundamental solution. Variation of constants. Flow associated with a vector field. Alpha- and omega-limit sets. Lyapunov stability of an equilibrium point. Linearization. Lyapunov functions and stability criterion.

**Integral calculus.** Multiple integrals, Fubini's theorem, change of variables in multiple integrals. Polar and spherical coordinates. Surfaces and surface integrals. Gauss-Green formulas in the plane, with applications. Stokes' theorem.

**Fourier Series.** Fourier coefficients, Fourier series, Bessel's inequality. Pointwise convergence of the Fourier series of a piecewise regular function. Uniform convergence. Parseval's identity. Gibbs' phenomenon. Application of Fourier series to the solution of the heat and wave equation on a bounded domain.

**Fourier transform.** Fourier transform of a summable function, algebraic and differential properties of the transform. The Riemann-Lebesgue lemma. Transform of a convolution product and inversion of the Fourier transform. Transform of rapidly decreasing functions. Fourier transform of square summable functions and Plancherel's theorem. Shannon's theorem. Application of the Fourier transform to the solution of ordinary differential equations. Solution of the heat and wave equation on unbounded domains.

Testi consigliati

C.D. Pagani e S. Salsa, *Analisi Matematica 2*, Seconda edizione, Zanichelli, 2016

A. Vretblad, *Fourier analysis and its applications*, Springer, 2003

\* \* \* \* \*

CLIMATOLOGIA - 9 CFU

Dott. Federico Fierli, Dott. Federico Serva

 Programma

Introduzione al sistema climatico terrestre. Spettro di corpo nero: limite classico e implicazioni per la radiazione terrestre.

- Modello OD: Bilancio radiativo con riferimenti ai pianeti solari. Modelli semplificati di bilancio energetico: interazione albedo-temperatura e paradosso del giovane sole debole. Stabilità, instabilità e processi di retroazione.

Variabilità paleoclimatica, processi di glaciazione, "snowball earth". Metodi di datazione isotopica e ricostruzione di serie temporali. Ruolo climatico delle nubi e della convezione.

- Modelli 1D: Equazione del trasferimento radiativo, modello "grey gas", effetto serra a valanga, atmosfera assorbente nell'ultravioletto. Proprietà spettrali dell'atmosfera. Bilancio energetico atmosferico. Entropia nel sistema climatico. - Cenni di circolazione oceanica e processi di scambio oceano-atmosfera. Bilancio energetico accoppiato oceano-atmosfera. Trasporto di energia e ciclo dell'acqua.

Bilancio energetico e radiativo osservati.

- Biosfera e cicli biogeochimici. Gas a effetto serra e interazione dinamica-chimica. Il ciclo del carbonio oceanico e processi di acidificazione. Ciclo dell'ossigeno e dell'azoto in atmosfera e ruolo climatico dell'ozono stratosferico.

Il corso include esercizi da svolgere in classe ed una serie di esercitazioni di calcolo numerico e di analisi di dati per approfondimento dei punti svolti a lezione.

 Program:

*Introduction to the Earth's climate system. Black body spectrum: the classical limit and implications for the terrestrial radiation.*

*- OD model: radiative balance with references to the solar planets. Simplified models of energy balance: interaction albedo - temperature and the faint young sun paradox. Stability, instability, and feedback processes.*

*Paleoclimatic variability, processes of glaciation, "snowball earth". Methods of isotopic datation and reconstruction of time series.*

*- 1D models: Equation of radiative transfer model "gray gas" greenhouse runaway effect, the ultraviolet absorbing atmosphere. Spectral properties of the atmosphere. The role of clouds and convection.*

*- Atmospheric energy balance. Entropy in the climate system. Outline of ocean circulation and ocean-atmosphere exchange processes. Coupled ocean-atmosphere energy balance. Transport of energy and water cycle.*

*Observed radiative and energy balance.*

*- Biosphere and biogeochemical cycles. Greenhouse gas - chemical and dynamic interaction. The carbon cycle and ocean acidification. Cycle of oxygen and nitrogen in the atmosphere and climate role in stratospheric ozone.*

*The course includes exercises to do in the classroom and a series of exercises of numerical calculation and data analysis.*

Testi consigliati

*Peixoto and Oort, Physics of Climate, AIP press*

*R.T. Pierrehumbert, Principles of Planetary Climate, Cambridge University Press  
(versione shareware sul sito del corso <http://www.isac.cnr.it/~utls/?q=node/243>)*

*D.J. Jacob, Introduction to Atmospheric Chemistry, Princeton University Press  
<http://acmg.seas.harvard.edu/people/faculty/djj/book/>*

Dispense del corso (<http://www.isac.cnr.it/~utls/?q=node/243>)

\* \* \* \* \*

CHIMICA - 7 CFU

Dott. Lorenzo Gontrani

 Programma



Tavola periodica e proprietà degli elementi. Il legame chimico. Le equazioni chimiche. Lo stato gassoso. Lo stato solido. Lo stato liquido: soluzioni e proprietà. Termodinamica. L'equilibrio chimico in sistemi omogenei ed eterogenei. Equilibri acido-base. Reazioni di precipitazione, complessazione, redox. Elettrochimica. Cinetica chimica.

 Program:

*Atoms and periodic table. The chemical bond. The chemical equations. The gaseous state. The solid state. The liquid state: solutions and properties. Chemical thermodynamics. The chemical equilibria in homogeneous and heterogeneous systems. Acid-base, precipitation, redox, complexation reactions and equilibria. Electrochemistry. Chemical kinetics.*

Testi consigliati:

*Chimica generale di Petrucci, Herring, Ed. Piccin. Chimica di Kotz, Ed Edises. Stechiometria per la chimica generale di Lausarot e Vaglio, Ed. Piccin*

\* \* \* \* \*

COMPLEMENTI DI ALGEBRA E GEOMETRIA - 6 CFU

*Prof. Francesco Brenti*

 Programma

Topologie e spazi topologici. Sottospazi. Topologia Euclidea. Aperti e chiusi. Interno, chiusura, punti di accumulazione, derivato, frontiera, intorni, sottoinsiemi densi. Funzioni continue. Limiti e convergenza. Omeomorfismi. Spazi metrici. Spazi normati. Topologia indotta da una metrica. Topologia indotta da una norma. Spazi topologici di Hausdorff. Prodotto di spazi topologici. Topologia prodotto. Spazi topologici connessi. Spazi topologici connessi per archi. Spazi topologici compatti. Gruppi. Sottogruppi. Gruppi di matrici.  $GL(n,R)$ ,  $SL(n,R)$ ,  $O(n,R)$ ,  $SO(n,R)$ ,  $GL(n,C)$ ,  $SL(n,C)$ ,  $U(n)$ ,  $SU(n)$ . Topologia di questi gruppi. Relazione tra i gruppi ortogonali e le isometrie dello spazio Euclideo. Gruppi di simmetrie. Spazi tangenti. Algebre di Lie. Le algebre di Lie dei gruppi classici di Lie.

 Program:

*Topologies and topological spaces. Topological subspaces. Euclidean topology. Open and closed sets. Interior, closure, accumulation points, derived sets, boundary, neighborhoods, dense subsets. Continuous functions. Limits and convergence. Homeomorphisms. Metric spaces. Normed spaces. Topology induced by the metric. Topology induced by the norm. Hausdorff topological spaces. Product of topological spaces. Product topology. Connected topological spaces. Path connected topological spaces. Compact topological spaces. Groups. Subgroups. Matrix groups.  $GL(n,R)$ ,  $SL(n,R)$ ,  $O(n,R)$ ,  $SO(n,R)$ ,  $GL(n,C)$ ,  $SL(n,C)$ ,  $U(n)$ ,  $SU(n)$ . Topology of these groups. Relationship between orthogonal groups and isometries of Euclidean space. Symmetry groups. Tangent spaces. Lie algebras. The Lie algebras of the classical Lie groups.*

Bibliografia di riferimento:

S. Lipschutz, "Topologia", ETAS Libri.  
K. Tapp, "Matrix Groups for Undergraduates", American Mathematical Society, 2005.

\* \* \* \* \*

\* \* \* \* \*

## COMPLEMENTI DI OTTICA - 6 CFU

*Dott. Paolo Proposito (Mutuato dal corso di Laurea in Scienza dei Materiali)* Programma

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

Modi assiali e trasversali. Allargamenti di riga. Laser a stato solido, a gas, a liquido, parametrici. Mode locking, Q-switching. Alcuni tipi di laser e loro applicazioni

Ottica all'interfaccia tra due mezzi. Cenni di ottica guidata. Guide d'onda dielettriche. Modi ottici in guide planari e guide canali. Perdite ottiche in film sottili. Fibre ottiche.

Cenni su alcune tecniche di spettroscopia ottica: assorbimento, emissione, tempi di vita, ellissometria spettroscopica.

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

 Program:

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

*Practical experiences in laboratory of specific topics.*

Testi consigliati:

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

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

\* \* \* \* \*

## ELEMENTI DI ASTROFISICA - 6 CFU

*Prof. Francesco Tombesi*

Richiede il superamento di Elettromagnetismo.

 Programma

Forze gravitazionali ed elettromagnetiche. Il Teorema del Viriale. La gravità equilibrata dalla pressione nelle stelle: stelle normali, produzione di energia termonucleare; nane bianche e stelle di neutroni; pressione di degenerazione. La gravità vincente: collasso gravitazionale, buchi neri stellari, e massivi nei quasar e nei Nuclei Galattici Attivi. La gravità alle scale cosmiche: il Big Bang. La Galassia e le

galassie. Galassie a disco, ed ellittiche; galassie nane. Curve di rotazione, dispersione di velocità, materia oscura.

 Program:

*Gravitational and electromagnetic forces. Virial Theorem. Gravity balanced by pressure inside stars: normal stars, production of thermonuclear energy; white dwarfs and neutron stars; degeneracy pressure. Winning gravity: gravitational collapse, stellar black holes, massive black holes in quasars and active galactic nuclei. Gravity at cosmic scales: the Big Bang. Dark matter and gravity in galaxies.*

\* \* \* \* \*

ELEMENTI DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE - 6 CFU

Prof.<sup>ssa</sup> Annalisa D'Angelo, Dott.<sup>ssa</sup> Rachele Di Salvo

 Programma

Cenni storici. La radioattività naturale. Esperimenti di diffusione. Sezioni d'urto. Coefficiente di assorbimento, lunghezza di attenuazione e cammino libero medio. Sezione d'urto totale, elastica, inclusiva ed esclusiva. Luminosità e sezione d'urto per esperimenti con fasci incrociati. Sezioni d'urto differenziali. I modelli atomici e l'esperimento di Rutherford. La sezione d'urto di Rutherford. Il protone e le trasmutazioni nucleari. La scoperta del neutrone. Proprietà generali dei nuclei. Nuclei isotopi, isotoni, isobari. Dimensioni di atomi, nuclei e particelle. Fattori di forma. La dimensione e la forma dei nuclei. Raggio nucleare. Masse dei nuclei. Lo spettrometro di massa; spettrometro tipo Bainbridge. Parità dei nuclei. Momenti Magnetici dei Nucleoni. Il formalismo dello spin isotopico. Energia di legame per nucleone. Formula di Weizsacker. Abbondanza dei Nuclidi. Stabilità. Decadimenti radioattivi. Legge del decadimento radioattivo. Rapporto di diramazione. Il decadimento  $\alpha$ ; cinematica del decadimento  $\alpha$  e cenni alla teoria di Gamow. Il decadimento  $\beta$  e violazione della parità nelle interazioni deboli: l'esperimento di Wu. La cattura elettronica. L'emissione  $\gamma$ . La conversione interna. L'isomerismo. Gli equilibri radioattivi. Le famiglie radioattive. Cinematica relativistica: principio di relatività; quadrivettori e trasformazioni di Lorentz; composizione delle velocità: il quadrivettore energia-impulso; massa invariante; sistemi del laboratorio e del centro di massa; energia di soglia di una reazione; trasformazione degli angoli; decadimento in due corpi. Elementi sulle reazioni nucleari. Bilancio energetico:  $Q$  della reazione. Misura di sezione d'urto. Reazioni a stato finale multiplo. Diffusione elastica. Reazioni senza proiettile (decadimento). Modelli nucleari a Interazione Forte e a Particelle Indipendenti. Potenziali nucleari. Modello a goccia. Modello a gas di Fermi. Numeri magici. Modello a Shell. Nuclei doppiamente magici. La fissione e la fusione nucleare. Interazione radiazione-materia: diminuzione di intensità e perdita di energia. Interazione delle particelle cariche con la materia: Perdita di energia per ionizzazione, perdita di energia per irraggiamento (Bremsstrahlung). Il *range*. Il fenomeno dello *scattering* multiplo. Il fenomeno dello *Straggling* energetico. Effetto *Cerenkov*. Interazione della radiazione elettromagnetica: Diffusione Compton, Effetto fotoelettrico, Produzione di coppie. Coefficiente di attenuazione lineare e massico. Cammino libero medio. Strato emivalente e decivalente. Interazione dei neutroni con la materia. Energia perduta dai neutroni nell'urto elastico. Elementi sui rivelatori per la fisica nucleare e subnucleare: caratteristiche generali, emulsioni, rivelatori a gas, rivelatori *Cerenkov*, scintillatori, rivelatori a semiconduttore. Criteri di scelta di un rivelatore.



Program:

*Background. The natural radioactivity . Scattering experiments. Cross sections. Absorption coefficient, attenuation length and mean free path. Total cross section, elastic, inclusive and exclusive. Luminosity and cross section for experiments with crossed beams. Differential cross sections . The atomic models and the Rutherford experiment. The cross section of Rutherford. The proton and nuclear transmutations. The discovery of the neutron. General properties of nuclei. Isotopes , isotonic, isobaric nuclei . Size of atoms, nuclei and particles. Form factors. The size and shape of the nuclei . Nuclear radius. Masses of nuclei. The mass spectrometer ; Bainbridge spectrometer . Parity of nuclei. Magnetic Moments of Nucleons. The formalism of the isotopic spin. Binding energy per nucleon. Weizsacker formula . Abundance of nuclides . Stability. Radioactive decays . Law of radioactive decay. Branching ratio. The  $\alpha$  decay, the  $\alpha$  decay kinematics and elements of the Gamow theory. The  $\beta$  decay and parity violation in weak interactions : the experiment of Wu. The electron capture . The gamma-ray emission . The internal conversion . The isomerism . The radioactive equilibrium . Radioactive families. Relativistic kinematics: the principle of relativity , four vectors and Lorentz transformations; velocities composition: the energy-momentum four-vector ; invariant mass ; systems of the laboratory and of the center of mass; energy threshold of a reaction ; transformation of the angles ; decay into two bodies . Elements on the nuclear reactions. Energy balance:  $Q$  of the reaction. Measurement of the cross section . Reactions to multiple final state . Elastic scattering . Reactions without projectile ( decay ). Nuclear models at interaction Strong and at Independent Particles . Nuclear potential . Drop model . Fermi gas model . Magic numbers . Shell Model. Doubly magic nuclei . The fission and nuclear fusion. Radiation-matter interaction : reduction of intensity and energy loss. Interaction of charged particles with matter : Energy loss by ionization, energy loss by radiation ( Bremsstrahlung ) . The range . The phenomenon of multiple scattering . The phenomenon of Straggling energy . Cerenkov effect . Interaction of electromagnetic radiation: Compton scattering, photoelectric effect, pair production. Linear and massive attenuation coefficient. Mean free path. Emivalente and decivalente layers. Interaction of neutrons with matter. Energy lost in the neutron elastic collision. Elements on the detectors for nuclear and subnuclear physics : general characteristics , emulsions, gas detectors , Cerenkov detectors , scintillators , semiconductor detectors . Criteria for the selection of a detector. Elements of Particle Physics: isotopic spin, strangeness, hypercharge, G-parity, Parity, Time Inversion, Charge conjugation, the CPT theorem, Birth of the quark model. Quarks. Particle characteristics. Leptons, mesons, baryons. Color charge. Elements on the standard model of particles and theories of grand unification.*

#### Testi consigliati

*B. Povh, K. Rith, C. Scholz e F. Zetsche, Particelle e Nuclei, (Bollati Boringhieri, 1998) K.S. Krane, Introductory Nuclear Physics (John Wiley, 1988)*

*B.R. Martin, Nuclear and Particle Physics (John Wiley, 2006) E. Segrè, Nuclei e particelle (Zanichelli, 1982). D. H. Perkins, Introduction to high energy physics (Cambridge Univ. Press, 2000) R.W. Leo, Techniques for nuclear and particle physics experiments (Springer-Verlag, 1987)*

\* \* \* \* \*

ELETTROMAGNETISMO - 9 CFU

Prof. Emanuele Santovetti, Dott.<sup>ssa</sup> Alessia Satta

### Programma

La legge di Coulomb e il campo elettrico. La legge di Gauss. Il potenziale elettrico.

Capacità. Dielettrici. Corrente e resistenza. Circuiti elettrici. Campo magnetico costante nel vuoto. Legge di Ampère. Potenziale vettore. Campo magnetico costante nella materia. Diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo. Induzione elettromagnetica. Autoinduzione e induzione mutua. Campi variabili nel tempo.

Equazioni di Maxwell ed equazioni d'onda per i campi e i potenziali. Invarianza della velocità della luce.

### Program:

*Coulomb's law and electric field. Gauss's law. Electrostatic potential. Capacitance. Dielectrics. Current and resistance. Electrical circuits. Constant magnetic fields in vacuum and in matter. Ampere's law. Vector potential. Diamagnetism, paramagnetism and ferromagnetism. Electromagnetic induction. Mutual and self induction. Time varying fields. Maxwell equations and wave equations for fields and potentials. Constancy of the speed of light. Special relativity and relativistic invariance of Maxwell's equations.*

### Testi consigliati

*Mazzoldi, Nigro, Voci. Fisica vol. 2 – A. Bettini Elettromagnetismo*

\* \* \* \* \*

### ELETTRONICA 1 - 6 CFU

*Dott. Antonio Agresti*

### Programma

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.

### Program:

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

### Testi consigliati:

*R. C. Jaeger Microelettronica*

\* \* \* \* \*

### FISICA BIOLOGICA 1 - 6 CFU

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

### Programma

Come si definisce un sistema vivente: il concetto di complessità. La formazione del sistema solare, l'evoluzione del pianeta Terra e la comparsa della vita. Dalla protocellula (Oparin) alla cellula: procarioti ed eucarioti. La cellula: meccanismi di comunicazione e riconoscimento tra cellule. Le macromolecole: proteine, acidi nucleici, zuccheri e lipidi. Il messaggio biologico e la doppia elica del DNA: replicazione, trascrizione e traduzione. Sequenziamento e mappatura del DNA. La misura del contenuto informativo del genoma. I problemi NP-completi (il problema di Hamilton) e il DNA computing. La legge di Zipf e

l'invarianza di scala. L'entropia relativa come misura della similarità tra stringhe di caratteri (DNA e proteine).

Metodi matematici per l'analisi delle sequenze: processi di Markov; Teorema di Bayes nel continuo; pressione selettiva e abbondanza o rarità di oligonucleotidi; il modello evolutivo di Eigen. Le proteine, gli amino acidi e la catena polipeptidica. Proprietà fisico-chimiche degli amino acidi. Proteine: funzione e folding; struttura secondaria e terziaria. Interazione proteina-proteina. Struttura quaternaria e cooperatività: il modello MCW. Le banche dati: acidi nucleici e proteine.

 Program:

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

\* \* \* \* \*

FISICA DEI PLASMI - 6 CFU

Dott. Giuseppe Consolini

 Programma

Introduzione ai plasmi. Moto di particelle nel campo elettromagnetico ed invarianti adiabatici. Teoria delle collisioni nei plasmi. Descrizione statistica ed equazione di Klimontovich per i plasmi: dalla descrizione cinetica a quella fluida. Equazioni magnetoidrodinamiche. Condizioni per l'equilibrio idromagnetico: equilibri "force-free", condizione per l'equilibrio di Ferraro ed equazione di Grad-Shafranov. Instabilità nei plasmi. Onde magnetoidrodinamiche. Onde di plasma. Cenni sull'elicità magnetica e topologia. Cenni sulla riconnessione magnetica e sulla turbolenza magnetoidrodinamica

 Program:

*Introduction to plasmas. Particle motions in electromagnetic fields and adiabatic invariants. Collision theory in plasmas. Statistical description and Klimontovich's equation for plasmas: from kinetic to fluid description. Magnetohydrodynamic equations. Conditions for the hydromagnetic equilibrium: Force-free equilibrium, equilibrium condition of Ferraro and equation of Grad-Shafranov. Plasma instabilities. Magnetohydrodynamic waves. Plasma waves. Hints on magnetic helicity and topologies. Introduction to magnetic reconnection and magnetohydrodynamic turbulence.*

Testi consigliati:

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

\* \* \* \* \*

#### FISICA DEI SISTEMI DINAMICI - 6 CFU

Prof. Roberto Benzi

##### Programma

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 invariante, naturale, ipotesi ergodica; Attrattore strano e proprietà frattali; Esponenti di Lyapunov generalizzati; Cenni di teoria delle grandi deviazioni; Scenari di transizione al caos; Cenni su processi stocastici.

##### Program:

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

\* \* \* \* \*

#### FISICA DELL'ATMOSFERA - 9 CFU

Dott. Francesco Cairo

##### Programma

Descrizione dell'atmosfera e meccanismi che ne influenzano il comportamento; Concetti termodinamici; Sistemi eterogenei e trasformazioni dell'aria umida; Equilibrio idrostatico e stabilità statica; Trasferimento radiativo; Aerosol e Nubi; Strato limite; Chimica dell'Atmosfera; La circolazione generale.

##### Program:

*Description of the atmosphere and the mechanisms that influence its behavior; Thermodynamic concepts; Heterogeneous systems and transformations of moist air; Hydrostatic equilibrium and static stability; Radiative transfer; Aerosols and Clouds; Boundary layer, Atmospheric Chemistry, The general circulation.*

##### Testi consigliati:

*Salby M. L., Physics of the Atmosphere and Climate, Cambridge University Press, 2nd Edition.*

*Wallace J. M., Hobbs P. V., Atmospheric Science: An Introductory Survey, Academic Press, 2nd Edition.*

*Iribarne J. V., Godson W. L., Atmospheric thermodynamics, Kluwer, 2nd edition.*

*Andrews D. G., An Introduction to Atmospheric Physics, Cambridge University Press, 2nd Edition.*

\* \* \* \* \*

#### FISICA MEDICA - 6 CFU

Prof. Livio Narici

##### Programma

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

 Program:

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

\* \* \* \* \*

FISICA TEORICA 1 - 6 CFU

*Prof. Massimo Bianchi*

 Programma

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

 Program:

*Principle of Relativity. Lorentz transformations. Cone of light. Quadri-carriers. Lorentz group. Generators and switching rules. Relativistic mechanics. Kinematics. Quad-speed, four-pulse. Relativistic mass. Composition of speeds. Relativistic dynamics. Quadri-force. Angular momentum. Vector of Pauli-Lubanski. Charge in an electromagnetic field. Lorentz force. Quadri-potential. Electro-magnetic field tensor. Gauge invariance. Motion in constant electric and magnetic fields. Maxwell equations in covariant form. Lorentz transformations of the electro-magnetic field. Relativistic*



*invariants. Quadri-current. Local and global conservation of the office. Electro-magnetic duality, magnetic monopoles. Lagrangian for particles and for the electro-magnetic field. Minimal coupling. Energy-pulse tensor. Relativistic virial theorem. Electro-static field. Expansion in many-poles. Laplacian in orthogonal curvilinear coordinates. Motorbike in a Coulomb field. Magneto-static field. Giromagnetic factor. Precession of Larmour. Field generated by a moving charge. Linard-Wiechert potentials. Equation of electromagnetic waves. Mono-chromatic plane waves. Spectral decomposition. Polarization. Intensity. Own oscillations normal ways. Propagation of light. Geometric optics. Iconale. Diffraction. Electromagnetic radiation. Dipole radiation. Braking radiation. Synchrotron radiation. Diffusion of light. Magneto-hydrodynamic equations. Diffusion, viscosity and magnetic pressure. Flows. Plasmas: oscillations and instability. Magneto-hydrodynamic waves.*

Testi consigliati:

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

\* \* \* \* \*

FONDAMENTI DI INFORMATICA - 6 CFU

*Prof.<sup>ssa</sup> Dora Giammaresi (Mutuato dal corso di Laurea Triennale in Informatica)*

 Programma

Cenni sull'architettura di un calcolatore, CPU, memorie RAM, dischi rigidi. Sistemi operativi. Comunicazioni tra calcolatori e con hardware esterno. Programmi di scrittura scientifica: breve introduzione a tex. Scrittura di una semplice relazione scientifica in Latex. I compilatori. Introduzione alla programmazione strutturata, diagrammi di flusso. Esempi di facili programmi in Matlab. Importanza delle approssimazioni numeriche introdotte nella soluzione di facili problemi di fisica.

 Program:

*Notes on the architecture of a calculator, CPU, RAM memories, rigid discs. Operating systems. Communications between calculators and with external Hardware. Scientific writing programs: short introduction to Tex. Writing a simple scientific relationship in Latex. Compilers. Introduction to structured programming, flow diagrams. Examples of easy programs in Matlab. Importance of the numerical approximations introduced in the solution of easy physics problems.*

\* \* \* \* \*

GEOFLUIDODINAMICA - 9 CFU

*Dott. Stefano Federico*

 Programma

Equazioni di elusero e teorema di Kelvin.  
Equazioni dell'acqua bassa ed equazione delle onde  
Equazioni di Navier Stokes e transizione alla turbolenza  
Strato limite turbolento  
Moti convettivi  
Termodinamica dell'atmosfera e moti geotropici.  
Vorticità potenziale e moti quasigeostrofici,

Instabilità baroclinca e ciclo energetico di Lorenz.

Effetto dell'orografia nella circolazione generale dell'atmosfera

Cella di Hadley

 Program:

*Euler and Navier Stokes equations.*

*Vorticity conservation.*

*Transition to turbulence and stability of laminar flows*

*Boundary layer turbulence,*

*Thermodynamic properties of the atmosphere and geostrophic balance*

*Primitive equation, potential vorticity and geostrophic theory.*

*Baroclinic instability.*

*Eckmann pumping.*

*Hadley cell.*

\* \* \* \* \*

GEOMETRIA - 12 CFU

*Prof. Giuseppe Pareschi, Prof.<sup>ssa</sup> Martina Lanini*

 Programma

Spazi vettoriali. Indipendenza lineare. Basi e dimensione. Somma e intersezione di sottospazi vettoriali. Applicazioni lineari. Matrici. Determinanti. Sistemi di equazioni lineari. Autovalori e autospazi. Diagonalizzazione. Prodotti scalari. Ortogonalità. Proiezione ortogonale e decomposizione ortogonale. Norme e angoli. Basi ortonormali. Rette, piani, sottospazi affini e loro intersezione. Geometria in  $\mathbb{R}(2)$ : area. Geometria in  $\mathbb{R}(3)$ : prodotto vettoriale, prodotto misto, area, volume. Orientazione. Distanza da un sottospazio. Applicazioni lineari ortogonali, matrici ortogonali e loro autovalori e autospazi (in dimensione 3 e tre). Isometrie. Isometrie di  $\mathbb{R}(2)$  e  $\mathbb{R}(3)$ : rotazioni e riflessioni. Il gruppo  $SO(3)$  (cenni). Forme bilineari. Forme quadratiche reali e loro segnatura. Prodotto hermitiano. Operatori autoaggiunti. Teorema spettrale. Diagonalizzazione di forme quadratiche. Coniche (classificazione affine ed euclidea) quadratiche reali. Lo spazio  $\mathbb{R}^n$  delle n-uple di numeri reali. Sottospazi vettoriali di  $\mathbb{R}^n$ . Geometria del piano e dello spazio. Spazi vettoriali astratti e sottospazi. Dipendenza ed indipendenza lineare, basi e dimensione. Matrici e loro prodotti, sistemi di equazioni lineari. Il determinante. Applicazioni lineari, matrici associate, cambiamenti di base. Autovalori e autospazi, diagonalizzazione. Prodotti scalari. Aggiunto di un operatore, operatori simm.

 Program:

*Vector spaces. Linear independence. Dimension and bases. Sum and intersection of vector subspaces.*

*Linear maps. Matrices. Determinants. Linear systems. Eigenspaces, eigenvalues and diagonalization.*

*Inner products. Orthogonality. Orthogonal projection and orthogonal decomposition. Norm. Angles.*

*Orthonormal bases. Lines, planes, affine subspaces and their intersection. Geometry in  $\mathbb{R}(2)$ : area.*

*Geometry in  $\mathbb{R}(3)$ : cross product, mixed product, area, volume. Orientation. Distance point-subspace.*

*Orthogonal linear maps, orthogonal matrices and their eigenvalues/eigenspaces (in dimension 2 and*

*3). Rotations and reflections. Bilinear maps. Real quadratic forms and their signature. Hermitian*

*product. Self-adjoint operators. Spectral theorem. Diagonalization of quadratic forms. Conics (affine and*

euclidean classification).

Testi consigliati:

Abate Marco. *Algebra Lineare* Mc Grow Hill. *Abeasis Elementi di algebra lineare e geometria* Zanichelli-

\* \* \* \* \*

INGLESE - 4 CFU

*Docente afferente al CLA*

 Program:

MAIN OBJECTIVES. The course aims at the consolidation and improvement of the four language skills (reading, writing, listening, and speaking) through a wide range of activities in the field of science.

COURSE CONTENT. The lessons will be organized around various thematic units based on the course textbook and articles taken from authentic sources such as newspapers, the internet, specialized journals and hand-outs distributed in class. Each unit will focus on enhancing general language structures, vocabulary and functions on the basis of the readings and inclass discussions. Particular attention will be given to improving reading, comprehension and summarizing skills.

\* \* \* \* \*

LABORATORIO DI CALCOLO NUMERICO E INFORMATICA - 9 CFU

*Prof. Dario Del Moro, Prof. Giulio Cimini*

 Programma

Metodi iterativi, successioni numeriche, teorema di Taylor e resto di Lagrange, teorema del valore medio. Errori numerici: assoluti e relativi. Rappresentazione di numeri interi e reali, conversione tra basi numeriche, formati IEEE 754 per Floating Point, numeri macchina. Il codice ASCII. Nozione di algoritmo: il crivello di Eratostene, bubble sort. Metodi per la ricerca di radici semplici: Metodo della bisezione. Regola Falsi. Metodo di Newton e della secante. Criteri di convergenza per il metodo di Newton, ordine di convergenza, stima dell'errore. Generatori di numeri pseudo-casuali: Generatori congruenti lineari. Cenni sulle T-machine. Algoritmo di Mersenne Twister. Distribuzione uniforme ed esponenziale. Generatori di numeri pseudo-casuali e quasi-casuali: Distribuzione di Gauss (Metodo di Box-Muller). Differenziazione numerica: derivata prima e seconda (metodi a 2, 3 e 5 punti). Integrazione numerica: Metodo di Riemann, Errore di troncamento nell'integrazione di Riemann. Formula dei Trapezi e di Simpson. Formule gaussiane di quadratura. Integrali impropri, Metodo di Kantorovich per singolarita` isolate. Metodo Monte Carlo.

Metodi numerici per le equazioni differenziali ordinarie (ODE): Introduzione, errore di troncamento e di arrotondamento. Metodo di Eulero (approccio geometrico ed analitico) Errore di troncamento Metodo di Eulero, Metodo di Eulero perfezionato, Metodo di Eulero-Cauchy e metodi impliciti (trapezio). Predictor-corrector, Metodi di Runge-Kutta. Generalita` Metodo 2 ordine (Eunn, Eulero perfezionato). Metodo di Runge-Kutta 4 ordine. Controllo adattivo del passo.

Caos deterministico e dinamica non-lineare. Traiettorie, punti fissi, attrattori. Mappa logistica. Crescita delle popolazioni di May. Numero di Feigenbaum. Dimensione frattale: dimensione di Hausdorff-Besicovitch e metodo del box counting. Taxicab geometry. Automi Cellulari (AC): Introduzione Regole di transizione: totalistiche, probabilistiche, multipasso. Le funzioni iterative come AC 0-dimensionali,

Aritmetica modulare, Entropia di Shannon: applicazione dell'entropia di Shannon a diversi AC 0-d. Funzione di Ulam. Automi 1-d, Gestione dei confini del dominio, Kernel di convoluzione. Automi 2-d Le regole per Life, evoluzione. Automi 2-d per la simulazione di sistemi complessi. Cluster percolativi. Modello Forest-Fire e Sand Pile. Automi Cellulari Dissipativi.

Introduzione al linguaggio di programmazione Python

 Program:

*Iterative methods, numerical sequences, Taylor theorem and Lagrange rest, mean value theorem.*

*Numerical errors: absolute and relative. Representation of integers and real numbers, conversion between numerical bases, IEEE 754 formats for Floating Point, machine numbers. The ASCII code.*

*Notion of algorithm: the sieve of Eratosthenes, bubble sort.*

*Methods for finding simple roots: Bisection method. Regula Falsi. Newton and secant method.*

*Convergence criteria for Newton's method, convergence order, error estimation. Pseudo-random number generators: Linear congruent generators. Notes on T-machines. Mersenne Twister algorithm.*

*Uniform and exponential distribution. Generators of pseudo-random and quasi-random numbers: Gauss distribution (Box-Muller method). Numerical differentiation: first and second derivative (2, 3 and 5 point methods).*

*Numerical integration: Riemann method, Truncation error in Riemann integration.*

*Trapezoid and Simpson formula. Gaussian quadrature formulas. Improper integrals, Kantorovich method for isolated singularities. Monte Carlo method.*

*Numerical methods for ordinary differential equations (ODE): Introduction, truncation and rounding*

*error. Euler method (geometric and analytical approach) Truncation error Euler method, improved*

*Euler method, Euler-Cauchy method and implicit methods (trapezoid). Predictor-corrector, Methods of*

*Runge-Kutta. General Method 2 order (Eunn, Euler perfected). Runge-Kutta method 4 order. Adaptive*

*pass control. Introduction to deterministic chaos and non-linear dynamics. Trajectories, fixed points,*

*attractors. Logistics map. May population growth. Feigenbaum's number. Fractal dimension: Hausdorff-*

*Besicovitch dimension and box counting method. Taxicab geometry. Cellular Automata (AC):*

*Introduction Transition rules: totalistic, probabilistic, multipass. The iterative functions as 0-*

*dimensional AC, modular Arithmetic, Shannon Entropy: application of Shannon's entropy to different*

*AC 0-d. Function of Ulam. Automi 1-d, Management of the boundaries of the domain, Kernel of*

*convolution. 2-d automata The rules for Life, evolution. 2-d automata for simulating complex systems.*

*Percolation clusters.*

*Forest-Fire and Sand Pile model. Dissipative Cellular Automata. Introduction to the Python programming language.*

Testi consigliati:

*Epperson J.F. "Introduzione all'analisi numerica:*

*Teoria, metodi, algoritmi" McGraw-Hill*

*Press et al.: "Numerical Recipes", Cambridge University Press*

\* \* \* \* \*

LABORATORIO DI FISICA 1 - 10 CFU

Prof. Matteo Cirillo, Prof. Umberto De Sanctis,

Dott. Matteo Lorenzini

 Programma

Grandezze fisiche. Strumenti di misura e loro caratteristiche. Errori di misura e loro propagazione. Misure di grandezze meccaniche, termiche e termodinamiche connesse alle esperienze di laboratorio. Trattamento statistico dei risultati di una misura. Probabilità e frequenza. Distribuzioni limite. Metodo dei minimi quadrati: regressione lineare. Esercitazioni di laboratorio e relative relazioni scritte.

 Program:

*Physics quantities. Measuring instruments and their characteristics. Experimental uncertainties and error propagation. Measurements of mechanical, thermal and thermodynamics quantities related to laboratory experiments. Statistical data analysis. Probability and frequency. Limit distributions. Chi-square test. Laboratory practice and lab reports.*

Testi consigliati:

*"Fisica in Laboratorio", Vincenzo Canale e Massimo della Pietra, Casa Editrice Aracne*

*"Introduzione all'analisi degli Errori", John R. Taylor, Casa Editrice Zanichelli*

*"Introduzione alla Esperimentazione Fisica", Marco Severi, Casa Editrice Zanichelli*

*Appunti dalle lezioni.*

\* \* \* \* \*

## LABORATORIO DI FISICA 2 - 10 CFU

*Prof. Paolo Camarri, Prof. Vincenzo Caracciolo, Dott.<sup>ssa</sup> Lucilla Lanza*

 Programma

Leggi di Ohm e di Joule. Analisi dei circuiti elettrici in c.c. e c.a. Grandezze elettriche e relativi strumenti di misura. Rappresentazione complessa delle correnti e delle tensioni. Circuiti RL, RC, RLC e doppio stadio. Il diodo. Esercitazioni di laboratorio. Onde elettromagnetiche: rifrazione, riflessione, interferenza. Ottica geometrica: prisma, diottra, specchio sferico. Misure con sistemi ottici centrati e strumentazione connessa. Laser. Ottica dei corpi anisotropi.

 Program:

*Ohm's and Joule power dissipation. Network analysis and measurements of electrical quantities. Analysis of sinusoidal steady state by phasors and solutions of circuit equations by differential equations or Laplace transform. Relevance of initial conditions. Analysis of fundamental circuits (RC, RL, RLC, cascade RC-CR). Diod. Geometrical optics and electromagnetic waves. Reflection, refraction, polarization, interference and diffraction. Measurements of diffraction index and use of laser light for detecting diffraction patterns from single and double slit.*

Testi consigliati:

*M. E. Van Valkenburg, "Network Analysis", Prentice Hall*

*G. Cannelli "Metodologie Sperimentali in Fisica", Edi SES*

*V. Canale, P. Iengo, "Il Laboratorio di Fisica 2", Edi SES*

\* \* \* \* \*

## LABORATORIO DI FISICA 3 - 8 CFU

*Prof.<sup>ssa</sup> Manuela Angela Scarselli, Dott. Davide Badoni*

 Programma

Cenni alla struttura dei semiconduttori. Transistor a giunzione: principali configurazioni e loro caratteristiche, transistor a basse frequenze, modello ibrido. Amplificatori, amplificatori operazionali e applicazioni. Rumore in elettronica; tecniche di riduzione del rumore; lock-in. Circuiti digitali; esempi di funzioni in logica parallela ed in logica seriale. Esercitazioni di laboratorio.

 Program:

*Semiconductor structure. junction transistors: main configurations and their characteristics, transistor at low frequencies, the hybrid model. Operational amplifiers and applications. Digital Circuits. Laboratory exercises.*

Testi consigliati:

*R. C. Jaeger Microelettronica*

\* \* \* \* \*

### MATERIALI E FENOMENI A BASSE TEMPERATURE - 6 CFU

*Prof. Matteo Cirillo (Mutuato dal Corso di Laurea Magistrale in Scienza e Tecnologia dei Materiali)*

 Programma

Elementi di criogenia e delle tecniche di raffreddamento dei gas. Isentropic and isenthalpic cooling. Raffreddamento isentalpico ed isoentropico. Liquefazione e proprietà degli isotopi dell'elio. Scambiatori di calore, motori ad espansione, refrigeratori a diluizione. Smagnetizzazione adiabatica e nucleare. Termometria a basse temperature. Superconduttori del I e del II tipo. Proprietà magnetiche dei superconduttori. Il modello di London e la teoria fenomenologica di Landau-Ginsburg. Superconduttività debole (effetto Josephson e SQUIDS). I cuprati e le altre nuove famiglie di materiali superconduttori. La superconduttività a bassa dimensionalità.

 Program:

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

Testi consigliati:

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

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

*Appunti dalle lezioni*

\* \* \* \* \*

### MECCANICA ANALITICA - 7 CFU

*Prof. Benedetto Scoppola*

Richiede il superamento di Calcolo 2 e Fisica 1

 Programma

Sistemi unidimensionali. Equazioni di Lagrange. Formulazione variazionale. Simmetrie e costanti del moto. Equazioni di Hamilton. Integrità, trasformazioni canoniche, equazione di Hamilton-Jacobi.

 Program:

*One dimensional systems. Lagrange equations. Variational principles. Symmetries and constants of motions Hamilton equations. Integrability, canonical transformations, Hamilton-Jacobi equations*

Testi consigliati:

*Landau- Lifchitz, Meccanica*

\* \* \* \* \*

MECCANICA E TERMODINAMICA - 14 CFU

*Prof.<sup>ssa</sup> Viviana Fafone, Dott. Alessio Rocchi*

 Programma

Cinematica e Dinamica del punto materiale. Moti relativi. Dinamica dei sistemi di punti materiali e del corpo rigido. Urti. Statica. Gravitazione universale. Leggi di Keplero. Proprietà statiche e dinamiche dei fluidi. Oscillazioni e risonanza.

Principio zero della termodinamica.

Primo principio della termodinamica. Gas ideali e reali. Teoria cinetica dei gas. Secondo principio della termodinamica. Entropia. Cenni sul terzo principio della termodinamica. Potenziali termodinamici.

 Program:

*Kinematics and Dynamics of a particle. Dynamics of systems of particles and of rigid bodies. Statics. Universal gravitation. Kepler's laws. Static and dynamic properties of fluids.*

*Zeroth law of thermodynamics. First law of thermodynamics. Ideal and real gases. Kinetic theory of gases. Second law of thermodynamics. Entropy. Introduction to the third law of thermodynamics. Thermodynamic potentials.*

Testi consigliati:

*Mazzoldi, Nigro, Voci: "Fisica" Edises*

\* \* \* \* \*

MECCANICA QUANTISTICA - 10 e 9 CFU

*Prof. Massimo Bianchi, Dott. Giuseppe Zoccarato*

Richiede il superamento di Calcolo 2, Geometria, Meccanica e Termodinamica, Elettromagnetismo, e Meccanica Analitica.

 Programma

Crisi della Fisica Classica. Dualità onda-particella. Postulati della Meccanica Quantistica. Osservabili e operatori. Equazione di Schrödinger unidimensionale: buche di potenziale, effetto tunnel, oscillatore armonico. Approssimazione WKB. Equazione di Schrödinger tridimensionale: potenziali centrali, atomo di idrogeno. Momento angolare. Spin e momento magnetico. Particelle identiche. Teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo, teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo. Metodi variazionali.

 Program:

*Crisis of Classical Physics. Wave-particle duality. Postulates of Quantum Mechanics. Observables and operators, Schrödinger equation in one dimension: potential wells, tunnel effect, harmonic oscillator. WKB approximation. Schrödinger equation in three dimensions: central potentials, hydrogen atom. Angular momentum. Spin and magnetic moment. Identical particles. Time-independent perturbation theory. Time-dependent perturbation theory. Variational Methods.*

Testi consigliati:

*Landau Lifschitz Meccanica Quantistica*

*S. Gasiorowicz Quantum Physics*

\* \* \* \* \*

MECCANICA STATISTICA - 6 CFU

*Prof. Mauro Sbragaglia, Dott. Michele Buzzicotti*

Richiede il superamento di Meccanica Quantistica.

 Programma

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

 Program:

*Phase spaces and Liouville theorem. Microcanonical ensemble. Gibbs paradox. Canonical ensemble. Grandcanonical ensemble. Quantum statistical mechanics: Fermi-Dirac statistics and Fermi gas at low temperatures. Bose-Einstein statistics and Bose-Einstein condensation. Photon gas and Planck formula. Applications: electron gas in metals, vibrations in crystalline solids, specific heats of solids.*

Testi consigliati:

*L.D. Landau, Fisica Statistica*

*Pathria, Statistical Mechanics*

*K.Huang, Statistical Mechanics*

\* \* \* \* \*

METODI MATEMATICI DELLA FISICA - 10 CFU

*Prof. Roberto Frezzotti, Dott. Giuseppe Dibitetto*

Richiede il superamento di Geometria e Calcolo 2.

 Programma

Funzioni analitiche di variabile complessa. Teoremi di Cauchy. Sviluppi in serie di Taylor e di Laurent. Continuazioni analitiche. Teorema dei residui e sua applicazione al calcolo di integrali. Funzioni monodrome e poldrome. Sviluppi in serie di Laurent di funzioni poldrome. Cenni sulle distribuzioni. Spazi vettoriali ad un numero finito di dimensioni: vettori e operatori lineari. Diseguaglianze notevoli in spazi lineari metrici. Polinomi ortogonali. Autovalori e autovettori. Rappresentazione spettrale e funzioni di operatori. Operatore aggiunto, autoaggiunto, unitario e normale. Diagonalizzabilità di



operatori. Formule di Baker–Campbell–Hausdorff.

 Program:

*Analytic functions of complex variable and Cauchy theorems. Taylor and Laurent series expansions. Analytic continuations. Residue theorem and its application to evaluation of integrals. Single-valued and multiple-valued functions. Laurent expansions for multiple-valued functions. Basic ideas and facts about distributions (generalized functions). Finite dimensional linear spaces: vectors and linear operators. Key inequalities in unitary linear spaces. Orthogonal polynomials. Eigenvalues and eigenvectors. Spectral representation and functions of linear operators. Adjoint operator. Self-adjoint, unitary and normal operators. Diagonalizability of operators. Baker-Campbell-Hausdorff formulae.*

Testi consigliati:

1) F. Calogero, "Metodi matematici della Fisica", dispense dell' Istituto di Fisica G. Marconi, Università di Roma La Sapienza, anno accademico 1973/74:

[http://www.phys.uniroma1.it/DipWeb/web\\_disp/d1/index.html](http://www.phys.uniroma1.it/DipWeb/web_disp/d1/index.html)

2) E. Onofri, "Lezioni sulla teoria degli operatori lineari":

<http://www.fis.unipr.it/~enrico.onofri/MMFbook.pdf>

3) C. Rossetti, *Metodi Matematici della Fisica*, ed. Levrotto & Bella,

<http://www.libreriauniversitaria.it/metodi-matematici-fisica-rossetti-cesare/libro/9788882180607>

\* \* \* \* \*

#### METODI PROBABILISTICI PER LA FISICA - 6 CFU

Prof. Mauro Sbragaglia

 Programma

Distribuzioni di probabilità discrete. Limite al continuo. Combinazioni e permutazioni. Probabilità condizionata. Valori di aspettazione e varianza. Somme discrete di variabili Random. Legge dei grandi numeri e teorema del limite centrale. Funzioni generatrici. Random walks e catene di Markov.

 Program:

*Discrete probability distributions. Continuum probability distributions. Combinatorics and permutations. Conditional probability. Expected values and variance. Discrete sums of random variables. Law of large numbers. Central limit theorem. Generating functions. Random walks and Markov chains.*

Testi consigliati:

1) Grinstead and Snell, "Introduction to Probability"

2) Bertsekas and Tsitsiklis, "Introduction to Probability"

\* \* \* \* \*

#### MISURE ED ANALISI DI BIOSEGNALI - 6 CFU

Prof. Arturo Moletti

 Programma

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

 Program:

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

\* \* \* \* \*

RADIOATTIVITÀ - 6 CFU

Dott. Riccardo Cerulli

 Programma

Introduzione storica. Il nucleo atomico. Le leggi del decadimento radioattivo. Decadimento alfa. Decadimento beta. Decadimento gamma. Decadimenti esotici. Sorgenti radioattive. Interazione radiazione-materia. La non conservazione della parità nel decadimento beta. Fissione e fusione nucleare. Misura della massa del neutrino. L'origine degli elementi. Nucleosintesi nell'Universo primordiale e nelle stelle. Evoluzione della stella. La radioattività naturale e le radiazioni naturali. Altre sorgenti naturali: i raggi cosmici e i neutrini solari. Il Radon. Radioattività interna nell'uomo. I rivelatori di particelle. Elementi di dosimetria delle radiazioni. Effetto biologico delle radiazioni. Schermatura dalle radiazioni. Applicazioni della fisica nucleare: il metodo dell'attivazione neutronica e la radiodatazione. Tecniche di imaging nucleare.

 Program:

*Radioactive decay; valley of stability of nuclei; lifetime; amplitude level and the probability of decay, half-life and specific activity; branching ratio; radioactive decay: daughter activity; daughter activity in special cases; secular equilibrium. Production of radioactive sources (induced radioactivity). Decay schema of radioactive sources. The alpha decay. The nuclear radius. Energy distributions. The beta decay. Energy distribution of the beta spectrum. Properties of the neutrino. Fermi theory. Shape of the beta spectrum and the Curie plot. Selection rules of beta decay. Parity. The conservation of parity in beta decay and the experiment of Wu. The gamma-ray emission. Single transitions and transitions in cascade. Selection rules. Internal conversion. Nuclear isomerism. The fission and the fusion. The theory of Bohr and Wheeler to treat the fission process. Mechanical analogy of fission. Caloric power of fission. The chain reaction. The nuclear fusion. The origin of the elements. The standard Big Bang. Universe and primordial nucleosynthesis in stars. As a star is born. Evolution*

*of the star. The fusion in the stele and the origin of the elements. The nuclear reactions. Energy balance: Q of the reaction. The cross section. Measurement of cross sections. Interaction of radiation with matter: the charged particles. Loss of energy by ionization. Mass density and mass stopping power. Energy loss by radiation (Bremsstrahlung). Range. Straggling and multiple straggling. Interaction of photons with matter. The Photoelectric Effect. Thomson scattering and Compton scattering. Pair production. Linear and mass attenuation coefficient. Mean free path. Emivalente layer. Coefficients absorption. Neutron interaction with matter: elastic scattering; inelastic scattering, radiative capture, reactions with emission of charged particles, reactions with emission of neutrons, fission. Attenuation of neutrons. Energy loss by the neutron in elastic scattering. The natural radioactivity and natural radiation. Natural primordial radionuclides. Other natural sources: cosmic rays. Elements on the origin of the cosmic rays; composition of the cosmic rays, secondary cosmic rays. The 14C. The Radon. Internal radioactivity in humans. Artificial radioactive sources. Elements on particle detectors. Energy resolution. Response function, response time and efficiency. Dead time. Brief description of the operation of photographic emulsions; ionization chamber; proportional counter; Geiger-Muller counter; multi-wire proportional chamber; drift chamber; TPC; organic and inorganic scintillation detectors; the photomultiplier; Cherenkov counter; semiconductor detectors; lithium drifted detectors; silicon microstrip detectors; criteria for the choice of a detector. Elements of radiation dosimetry. Main parts of the cell; somatic cells and germ cells. Biological effects of the radiation : direct effects and indirect effects. Effects on particular organs. Activity, specific activity, fluency (or flow ) of radiation, intensity fluence (or flux intensity ) of radiation, fluence (or flux) of energy, intensity fluence (or flux intensity ) energy. Exposure. The intensity of the exposure. Absorbed dose. The intensity of the absorbed dose. Relationship between exposure and absorbed dose. The kerma and the intensity of kerma . Relationship between exposure, kerma and absorbed dose in the case of photons as a function of depth in the tissue . The indicators of risk by ionizing radiation. Equivalent dose. Quality factor of radiation. The LET. Quality factor as a function of neutron energy. Effects of radiation on humans . The recommendations of the ICRP. Mention to the dedicated law. Radiation shielding. Shielding from charged particles, heavy charged particles and electrons. Shielding from photons. The build-up. Shields from neutrons. Multi-layers shields. Applications of nuclear physics: the neutron activation method and the geological and archaeological dating. Basic on measurement techniques of 14C . Other dating methods: method of 41Ca ; dating by tracks accumulation; fission-track dating. Imaging techniques.*

\* \* \* \* \*

## FONDAMENTI DI ANALISI MATEMATICA - 6 CFU

Dott. Luca Giorgietti

### Programma

Spazi normati e operatori limitati. Spazi metrici e topologici. Nets, continuità, compattezza (locale). Cenni di teoria dell'integrazione alla Lebesgue. Spazi di Hilbert e operatori. C\*-algebre commutative e teorema di Gelfand-Naimark. Teoria spettrale per operatori autoaggiunti (limitati) su spazi di Hilbert. Stati e rappresentazioni di C\*-algebre. Formulazione assiomatica della Meccanica Quantistica. Rappresentazioni delle relazioni di commutazione canoniche e algebra di Weyl. Teorema di Stone e operatore hamiltoniano. Particella libera e oscillatore armonico.

### Program:

*Normed spaces and bounded operators. Metric and topological spaces. Nets, continuity, (local) compactness. Sketches of Lebesgue integration. Hilbert spaces and operators. Commutative  $C^*$ -algebras and the Gelfand-Naimark theorem. Spectral theory for (bounded) selfadjoint operators. States and representations of  $C^*$ -algebras. Axiomatic formulation of Quantum Mechanics. Representations of the canonical commutation relations and the Weyl algebra. Stone theorem and hamiltonian operator. Free particle and harmonic oscillator.*

\* \* \* \* \*

RELATIVITA' E COSMOLOGIA - 6 Cfu

Prof. Nicola Vittorio

 Programma

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

 Program:

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

Testi consigliati:

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

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

\* \* \* \* \*

RELATIVITA' ONDE E OTTICA - 8 CFU

Prof. Fabrizio Arciprete, Prof.<sup>ssa</sup> Velia Minicozzi

 Programma

Relatività Galileiana, La Fisica alla fine dell'800 - L'esperimento di Michelson e Morley, I postulati di Einstein, trasformazioni di Lorentz, proprietà matematiche dello spazio-tempo - Conseguenze delle trasformazioni di Lorentz - Dinamica relativistica - Relatività e elettromagnetismo, forma covariante dell'Elettromagnetismo, covarianza delle equazioni di Maxwell -Equazione delle onde di d'Alembert, onde piane - onde elastiche in una sbarra solida, onde elastiche in una corda tesa, onde nei gas - Onde piane armoniche - Analisi di Fourier - Polarizzazione - Propagazione dell'energia e intensità di un'onda

- Battimenti - Onde in più dimensioni - Pacchetti d'onda, velocità di fase e di gruppo - Effetto Doppler  
 Onde elettromagnetiche - Onde e.m. piane - Polarizzazione - Energia, vettore di Poynting - Quantità di  
 moto e pressione di radiazione - Dipolo oscillante - Formula di Larmor - Radiazione emessa dagli atomi,  
 diffusione della luce - Propagazione di un'onda e.m. in un mezzo dielettrico, dispersione e assorbimento  
 - Effetto Doppler relativistico ed effetto Cerenkov - Riflessione e rifrazione delle onde - Principio di  
 Huygens e Teorema di Kirchhoff - Leggi della riflessione e rifrazione - Legge di Snell, angolo di Brewster  
 e riflessione totale interna - Dispersione della luce in un mezzo trasparente - Intensità delle onde riflesse  
 e rifratte, formule di Fresnel - Riflessione e trasmissione di onde elastiche - Interferenza - Interferenza  
 prodotta da due sorgenti - Esperimento di Young - Cammino ottico - specchio di Lloyd - Interferenza di  
 N sorgenti coerenti - Interferenza su lamine sottili e strati antiriflettenti, anelli di Newton e altri esempi  
 - Onde stazionarie in una corda tesa con estremi fissi, corda tesa con una estremità libera - Diffrazione -  
 Diffrazione di Fraunhofer e di Fresnel - Diffrazione da una fenditura - Diffrazione da un foro e da un  
 disco, principio di Babinet - Limite di risoluzione delle lenti e potere separatore dell'occhio umano -  
 Reticolo di diffrazione, potere risolutivo e dispersivo - Diffrazione di  
 Fresnel, caso di un foro - Reticolo zonato di Soret -  
 Ottica Geometrica - Definizioni e convenzioni - Specchi - Diottri - Lenti sottili - Lenti spesse e sistemi  
 ottici centrati - Aberrazioni - Il prisma, potere dispersivo e dispersione angolare - Principio di Fermat



Program:

*Galilean Relativity - Physics at the end of the XIX century - The Michelson-Morley experiment - Einstein  
 postulates - Lorentz transformations - Relativistic dynamics - Relativity and Electromagnetism -  
 covariant form of the Electromagnetism - Covariance of the Maxwell equation -  
 Wave phenomena - D'Alembert equation - Plane waves - Elastic waves in a solid bar, elastic waves in a  
 stretched string, waves in gases - Harmonic plane waves and Fourier Analysis - Polarization - Energy  
 Propagation, wave intensity - Beats - Waves in three dimensions - Wave packets, phase and group  
 velocities - Doppler Effect and shock wave - Electromagnetic waves - Electromagnetic plane waves -  
 Polarization - Energy - Poynting vector and Poynting theorem - Radiation pressure - Oscillating dipole  
 and Larmor Formula - Radiation emitted by atoms, light diffusion - Propagation of e.m. wave in a  
 dielectric medium - Relativistic Doppler effect and Cerenkov effect - Reflection and refraction of waves  
 - Huygens principle and Kirchhoff theorem - Laws of reflection and refraction - Snell's Law, Brewster  
 angle and total reflection - Fresnel formulas - Interference phenomena - Interference produced by two  
 sources - Young's Experiment - Optical path - Lloyd mirror - Interference of N coherent sources -  
 Interference on thin layer, Newton's rings - Standing waves in a stretched string with fixed ends -  
 Tighrope with a free end - Diffraction - Diffraction of Fraunhofer and Fresnel - Diffraction at a slit -  
 Diffraction by hole and disc - Resolving limit of lens and the human eye separation power - Diffraction  
 grating - Resolving power and a dispersive grating - Fresnel Diffraction, case of a circular hole -  
 Geometrical Optics - Definitions and conventions - Mirrors - Diopters - Thin lenses - Thick lenses and  
 Centred optical systems - Optical aberrations - Fermat principle*

Testi consigliati:

*P. Mazoldi, M. Nigro, C. Voci - Fisica vol. 2, ed. EDISES - Napoli*

\* \* \* \* \*

STORIA DELLA SCIENZA - 8 CFU

Prof. Benedetto Scoppola (Mutuato dal corso di Laurea in Matematica)

### Programma

Conoscenze pre-scientifiche e scienza: cenni al problema della demarcazione. La filosofia naturale della Grecia classica. Metodo e risultati della scienza ellenistica. Il Rinascimento scientifico. L'età galileiana. Principali caratteristiche della scienza settecentesca. La nascita delle principali teorie dell'Ottocento: geometrie non euclidee, termodinamica, elettromagnetismo, chimica, teoria dell'evoluzione. Crisi della scienza esatta nel primo Novecento. Sviluppo dell'informatica e sue conseguenze. Mutamenti del rapporto tra scienza e tecnologia.

### Program:

*Pre-scientific knowledge and science: the demarcation problem. Philosophia Naturalis in classical Greece. The method and the results of the hellenistic science. The Scientific Renaissance. Galilean age. Main features of science in the 18th century. The origin of the main characteristics of the theories of the 19th century: non-Euclidean geometries, thermodynamics, electromagnetism, chemistry, evolution theory. The crisis of hard sciences in the early 20th century. Information revolution and its consequences. Today relationship between science and technology.*

### Testi consigliati:

*L. Russo, La rivoluzione dimenticata, L. Russo, E. Santoni, Ingegneri minuti*

\* \* \* \* \*

FISICA QUANTISTICA DELLA MATERIA 1 - 9 /8 CFU

Prof.<sup>ssa</sup> Anna Sgarlata, Dott. Luca Persichetti

### Programma

Fisica Atomica: Atomi a un elettrone: Correzioni di Struttura Fine e Iperfine. Interazione con Campi Elettrici e Magnetici esterni. Interazione di atomi idrogenoidi con la radiazione elettromagnetica. Atomi a due elettroni: stato fondamentale e stati eccitati. Atomi a molti elettroni: approssimazione di Campo Centrale e Metodo di Hartree Fock. Fisica Molecolare: Approssimazione di Born-Oppenheimer. Moti elettronici e nucleari. Spettri Molecolari Rotazionali e Vibrazionali. Spettri Elettronici e Principio di Frank Condon. Spettroscopia Raman.

### Program:

*Atomic Physics: One -electron atoms: Fine and Hyperfine structure. Interaction with external electric and magnetic fields. Interaction of one-electron atoms with electromagnetic radiation. Two-electron atoms: Ground state and excited states. Many electron atoms: the central field approximation, the Hartree Fock method and the self consistent field. Molecular Physics: the Born-Oppenheimer approximation. Electronic structure of diatomic molecules. The rotation and vibration of diatomic molecules. Molecular spectra. The Rotational, vibrational and electronic spectra and Franck Condon principle. Raman spectroscopy.*

### Testi consigliati:

*- B.H. Bransden, C.J. Joachain: "Physics of Atoms and Molecules", Longman (1986)*

*Atkins, Friedmann "Meccanica Quantistica Molecolare", Ed. Zanichelli*

*- A. Balzarotti, M. Cini, M. Fanfoni: "Atomi, Molecole e Solidi" Springer Ed. Esercizi risolti. Collana: ISBN 978-88-470-0270-8*

\* \* \* \* \*