

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA

Dipartimento di Fisica

<http://fisica.unipv.it/>

GUIDA DELLO STUDENTE

**Corsi di Studio
dell'Area Fisica**

Anno Accademico 2018-2019

29 Ottobre 2018

Indice

Presentazione	3
Laurea in Fisica (triennale)	4
Piano di studio ufficiale	7
Piano di studio per studenti a tempo parziale	10
Certificazioni internazionali	11
Lineamenti dei corsi della Laurea in Fisica	12
Laurea magistrale in Scienze Fisiche (biennale)	32
Curriculum di Fisica della Materia	36
Curriculum di Fisica Nucleare e Subnucleare	36
Curriculum di Fisica Teorica	37
Curriculum di Fisica Biosanitaria	38
Curriculum di Didattica e Storia della Fisica	39
Lineamenti dei corsi della Laurea Magistrale in Scienze Fisiche	41
Struttura e attività del Dipartimento di Fisica	78
Attività di ricerca scientifica	78
Dottorato di Ricerca in Fisica	80
Biblioteca delle Scienze e Sezione di Fisica	81
Laboratori didattici	81
Istituto Universitario di Studi Superiori di Pavia	81
Laboratorio di Energia Nucleare Applicata (L.E.N.A.)	82
Centro Grandi Strumenti	82
Il Centro Linguistico	82
Programma Erasmus	83
Centro Orientamento Universitario (COR)	83
Il S.A.I.S.D.	83
Rappresentanze studentesche	83
Elenco docenti	85

PRESENTAZIONE

L'offerta didattica dell'Università di Pavia per coloro che intendono intraprendere e approfondire lo studio della Fisica si articola su due livelli:

- 1) Laurea in FISICA (triennale)
- 2) Laurea Magistrale in SCIENZE FISICHE (biennale)

Questa Guida illustra i percorsi didattici che portano al conseguimento della laurea in Fisica (laurea di primo livello, triennale) e della laurea magistrale in Scienze fisiche (laurea di secondo livello, biennale).

La laurea triennale fornisce sia una formazione di base che consente il proseguimento degli studi nella laurea magistrale, sia competenze sufficienti per l'inserimento nel mondo del lavoro.

La laurea magistrale si articola in differenti percorsi formativi, sia rivolti alla preparazione di ricercatori e insegnanti che al conseguimento di competenze in specifici settori applicativi.

Una peculiarità dell'organizzazione didattica è il Credito Formativo Universitario (CFU), che rappresenta, sia pure in modo approssimato, una misura dell'impegno richiesto allo studente per conseguire una preparazione adeguata al superamento di ciascun esame. Gli insegnamenti di un anno accademico comportano di norma l'acquisizione di 60 CFU, la laurea triennale viene conseguita con 180 CFU e quella magistrale con altri 120 CFU.

L'organizzazione didattica è predisposta in modo tale che l'impegno temporale per lo studio, il carico didattico delle singole attività formative e le modalità di espletamento delle prove d'esame consentano allo studente medio di conseguire la laurea con una solida preparazione negli anni previsti dal curriculum degli studi. Naturalmente, al fine di una buona preparazione nei tempi stabiliti sono essenziali la frequenza assidua alle lezioni e uno studio regolare.

Le informazioni contenute in questa Guida sono reperibili nel sito web <http://fisica.unipv.it/dida/Corsi.htm> dove sono riportati l'orario e le aule delle lezioni, il calendario delle sedute di laurea e altre informazioni.

L'attività didattica è regolata dal **Consiglio Didattico di scienze e tecnologie fisiche** di cui fanno parte i docenti di ruolo, i docenti a contratto e i ricercatori responsabili di insegnamenti, moduli di insegnamenti o di altra attività formativa attivata per i corsi di studio afferenti e i rappresentanti eletti dagli studenti iscritti agli stessi corsi di studio. Il Consiglio didattico è presieduto dal Presidente, (prof. Pietro Carretta, tel. 0382987478, pietro.carretta@unipv.it) eletto dal Consiglio e nominato dal Rettore.

Per consigli sui piani di studio gli studenti possono rivolgersi ai **Responsabili dei corsi di studio**: per la laurea triennale il prof. Paolo Montagna (tel. 0382/987636, paolo.montagna@unipv.it) e per la laurea magistrale il prof. Pietro Carretta (tel. 0382/987466, pietro.carretta@unipv.it).

Per informazioni su possibilità di soggiorni di studio presso Università straniere gli studenti possono consultare il prof. Lorenzo Maccone (tel. 0382/987482, lorenzo.maccone@unipv.it).

Per contattare la segreteria didattica del Dipartimento di Fisica scrivere a segreteriadidattica.fisica@unipv.it.

Per informazioni di competenza della segreteria studenti rivolgersi alla sig.ra Silvia Moroni, silvia.moroni@unipv.it.

Pavia, luglio 2018

Pietro Carretta
Presidente del Consiglio didattico
e-mail: pietro.carretta@unipv.it
tel. 0382/987478

Anna Rita Mangia
Responsabile Segreteria Didattica
e-mail: annarita.mangia@unipv.it
tel. 0382/987584

LAUREA IN FISICA

CORSO DI STUDI TRIENNALE

Obiettivo principale del **Corso di laurea in Fisica** (Classe L-30) è di fornire una preparazione culturale e metodologica adatta sia al proseguimento degli studi sia all'immediato inserimento nel mondo del lavoro. La naturale continuazione del Corso di Laurea in Fisica è costituita dalla Laurea Magistrale in Scienze Fisiche. Viene di seguito illustrata l'organizzazione degli studi del Corso di laurea triennale, secondo l'ordinamento didattico formato ai sensi del D.M. 270/2004.

Il regolamento didattico dettagliato del corso di laurea in Fisica è disponibile sul sito del Dipartimento di Fisica.

a) Organizzazione degli studi

L'attività didattica è predisposta in modo tale che l'impegno temporale per lo studio, il carico didattico delle singole attività formative e le modalità di espletamento delle prove d'esame consentano allo studente medio di conseguire la laurea con una solida preparazione nei tre anni previsti dal curriculum degli studi. La frequenza assidua alle lezioni e uno studio regolare sono essenziali al fine di una buona preparazione nei tempi stabiliti.

b) Crediti formativi universitari (CFU) e durata degli studi

Il CFU è l'unità di misura dell'impegno temporale medio richiesto allo studente per l'espletamento degli studi. 1 CFU equivale a 25 ore d'impegno comprendenti le ore di lezione frontale, di esercitazione, di laboratorio, di tirocinio e di studio individuale.

Ogni insegnamento è costituito da uno o più moduli a ognuno dei quali è attribuito un definito numero di CFU, come indicato più avanti. Lo studente acquisisce i crediti relativi a ciascun corso con il superamento della prova d'esame.

Di norma, un curriculum di studi annuale comporta l'acquisizione di 60 CFU, corrispondenti a circa 1500 ore di lavoro, e la laurea è conseguita con l'acquisizione di 180 CFU.

c) Requisiti d'accesso

Per essere ammessi al corso di laurea occorre essere in possesso del titolo di scuola secondaria superiore richiesto dalla normativa in vigore o di altro titolo di studio conseguito all'estero, riconosciuto idoneo dagli organi competenti dell'Università di Pavia.

Per l'iscrizione al corso di laurea è inoltre richiesto il possesso o l'acquisizione di un'adeguata preparazione iniziale che viene verificata attraverso un test di ingresso, le cui modalità sono rese note all'atto dell'iscrizione. Il test non ha carattere selettivo e serve esclusivamente ad accertare il livello delle conoscenze possedute; coloro che avranno mostrato lacune nelle conoscenze di matematica, saranno tenuti a partecipare, nel mese di ottobre, a un precorso finalizzato a colmarle. L'avvenuto recupero, da parte dello studente, delle lacune manifestate viene verificato attraverso il superamento dell'esame di almeno un insegnamento del primo anno di corso. Qualora ciò non sia avvenuto, lo studente non potrà sostenere gli esami del secondo e terzo anno di corso.

d) Piani di studio

Lo studente segue normalmente un piano di studio conforme al piano di studio ufficiale esposto nel seguito. I piani di studio conformi al piano di studio ufficiale sono approvati senza bisogno di ulteriore esame da parte del Consiglio didattico. Lo studente può tuttavia presentare un piano di **studio individuale motivato** che dovrà essere espressamente approvato da parte del Consiglio didattico. La presentazione dei piani di studio individuali avviene secondo modalità stabilite dalla Segreteria studenti.

Per informazioni sulle modalità di compilazione e presentazione dei piani di studio consultare la pagina web <http://www.unipv.eu/site/home/area-stampa/articolo3448.html>.

Previa approvazione da parte del Consiglio didattico, gli studenti potranno trascorrere periodi di studio o di apprendistato presso università italiane e straniere, enti pubblici e aziende con attribuzione di un numero di CFU da stabilire caso per caso.

Per studenti iscritti part-time è stato individuato un percorso specifico a pagina 10.

e) Obblighi di frequenza e propedeuticità

La frequenza alle lezioni è fortemente raccomandata al fine della proficua formazione dello studente e i singoli docenti adotteranno tutti gli strumenti utili per incentivarla. Essa è obbligatoria per gli insegnamenti o parti di insegnamenti per i quali il docente la ritenga necessaria in relazione a esercitazioni o attività di laboratorio. In tali casi il docente definisce le modalità della verifica.

L'iscrizione all'anno di corso successivo a quello cui lo studente è già iscritto non è sottoposta ad alcun vincolo. Non sussistono propedeuticità tra gli esami degli insegnamenti previsti dal piano di studio.

f) Tipologia delle forme didattiche, tutorato e verifica dell'apprendimento

La didattica è organizzata in moduli semestrali con crediti differenti. Gli insegnamenti possono essere costituiti da un solo modulo o da due moduli.

L'attività didattica di un modulo si esplica normalmente mediante lezioni frontali, eventualmente accompagnate da esercitazioni e/o da attività di laboratorio. Tuttavia ogni docente può ricorrere a ogni altra metodologia che ritenga efficace ai fini dell'apprendimento.

La didattica di base è accompagnata, con particolare cura nel primo anno, da un'attività di sostegno da parte di tutori rivolta all'eliminazione di carenze culturali di partenza, alla guida nell'organizzazione dello studio individuale e al recupero di studenti in difficoltà. Tale attività può essere svolta anche da studenti, dottorandi, borsisti e cultori della materia.

A scelta dei singoli docenti, la verifica dell'apprendimento è effettuata mediante prova orale e/o una prova scritta o pratica o da più prove distribuite nel corso delle lezioni. Il livello dell'apprendimento è quantificato con un voto in trentesimi, corrispondendo la sufficienza a un voto superiore o uguale a 18/30.

Il voto dell'esame non ha alcuna relazione con il numero di CFU associato all'insegnamento e il numero di CFU dell'insegnamento sarà acquisito se il voto sarà di sufficienza (cioè non inferiore a 18/30).

Per consultare il calendario degli appelli (Selezionare [688916] Dipartimento di Fisica) e le istruzioni relative all'iscrizione agli appelli tramite piattaforma ESSE3 collegarsi al sito internet <http://www.unipv.eu/site/home/naviga-per/studenti/immatricolarsi---frequente---concludere/articolo9118.html>.

g) Organizzazione temporale degli studi

Le lezioni si svolgono in due periodi di circa 14 settimane ciascuno, convenzionalmente chiamati "semestri", e gli esami in due periodi come indicato nella seguente tabella:

I semestre:	01/10/2018 – 11/01/2019 Lezioni
	14/01/2019 – 01/03/2019 Esami
II semestre:	04/03/2019 – 14/06/2019 Lezioni
	17/06/2019 – 30/09/2019 Esami

h) Prova finale e voto di laurea

La prova finale della laurea (triennale) in fisica consiste nella preparazione di una relazione scritta, con la guida di un docente supervisore e nella sua esposizione e discussione di fronte a una commissione di laurea in seduta pubblica.

La commissione è invitata ad attribuire il voto di laurea calcolando in primo luogo la media dei voti conseguiti negli esami, ad esclusione di quelli in sovrannumero, pesata con i relativi CFU, dopo aver sottratto i 12 CFU corrispondenti alle eventuali attività formative senza voto e, in subordine, ai voti più bassi. La media viene approssimata all'intero più vicino.

A questo si aggiungono:

- un punto se lo studente ha conseguito almeno 42 CFU entro il mese di ottobre del primo anno di studi;
- due ulteriori punti se lo studente si laurea nel terzo anno di corso, prima dell'inizio delle lezioni della laurea magistrale oppure un punto se si laurea entro dicembre dello stesso anno;
- un ulteriore punto se lo studente ha ottenuto almeno tre lodi negli esami sostenuti.

La commissione assegna poi un massimo di tre punti tenendo conto della qualità dell'esposizione e della discussione della relazione scritta, nonché del complessivo curriculum e in particolare delle lodi conseguite.

Se il punteggio così ottenuto raggiunge o supera i 110 punti lo studente ottiene il voto di 110/110, se raggiunge o supera i 113 punti, la commissione, all'unanimità, può attribuire la lode.

i) Norme per il trasferimento degli studenti da altra sede universitaria o da altro corso di laurea

L'iscrizione alla laurea in Fisica presso l'Università di Pavia degli studenti già iscritti alla stessa laurea presso altra sede Universitaria o già iscritti ad altro corso di laurea sarà deliberata caso per caso dal Consiglio didattico sulla base della congruità degli studi effettuati con il curriculum di studi della laurea presso l'Università di Pavia, tenendo conto delle regole enunciate nella parte terza del Regolamento didattico del Corso di laurea in Fisica.

**PIANO DI STUDIO UFFICIALE
DEL CORSO DI LAUREA IN FISICA**

Viene descritto di seguito il piano di studio ufficiale del Corso di Laurea in Fisica con gli insegnamenti o moduli di insegnamento impartiti in ogni anno e semestre e l'indicazione del numero di CFU ad essi assegnato.

Gli insegnamenti sono tutti unimodulari con l'eccezione dei seguenti che sono bimodulari. Per tali insegnamenti i crediti indicati nelle tabelle saranno attribuiti al termine dell'esame relativo all'intero insegnamento.

Insegnamenti bimodulari	I modulo	II modulo	CFU
Esperimentazioni di fisica I	Misure fisiche I	Laboratorio di fisica I	12
Esperimentazioni di fisica II	Misure fisiche II	Laboratorio di fisica II	12
Meccanica e Termodinamica	Meccanica	Termodinamica	12
Meccanica quantistica	Mod. A	Mod. B	12

Piano di studio ufficiale

1° anno	1° semestre	CFU
	Analisi matematica 1	9
	Algebra lineare	9
	Misure fisiche I	6
	Chimica	6
	totale	30
	2° semestre	
	Complementi di analisi matematica I	6
	Metodi informatici della fisica	6
	Laboratorio di fisica I	6
	Meccanica	6
	Termodinamica	6
	totale	30
2° anno	1° semestre	CFU
	Complementi di analisi matematica II	6
	Elettromagnetismo I	6
	Misure fisiche II*	6
	Meccanica razionale e analitica	9
	totale	27
	2° semestre	
	Elettromagnetismo II	6
	Laboratorio di fisica II	6
	Metodi matematici della fisica I	6
	Introduzione alla fisica moderna	6
	Lingua Inglese	3
	totale	27

* Il modulo di Misure Fisiche II viene svolto nel 1° semestre, ma alcune attività di laboratorio vengono posticipate al 2° semestre al termine del modulo di Laboratorio di Fisica II.

3° anno	1° semestre	CFU
	Meccanica quantistica (Mod. A)	6
	Meccanica quantistica (Mod. B)	6
	Metodi matematici della fisica II	6
	Laboratorio di fisica III	6
	Introduzione alla fisica nucleare	6
	Insegnamento a scelta	6
	totale	36
	2° semestre	
	Struttura della materia	12
	Introduzione alla fisica subnucleare	6
	Insegnamento a scelta	6
	Prova finale	6
	totale	30

Gli insegnamenti a scelta possono essere presi dall'elenco che segue, oppure scelti tra gli insegnamenti impartiti dall'Università di Pavia, purché congrui con il piano di studi presentato.

Insegnamenti a scelta

Denominazione	settore s.d.	CFU	semestre
Elettrodinamica e relatività	FIS/02	6	I
Equazioni differenziali e sistemi dinamici	MAT/05	6	I
Fisica delle radiazioni ionizzanti	FIS/04	6	I
Introduzione all'astronomia	FIS/05	6	I
Preparazione di esperienze didattiche	FIS/08	6	I
Storia della fisica	FIS/08	6	I
Complementi di fisica di base	FIS/08	6	II
Introduzione alla fisica dei solidi	FIS/03	6	II
Meccanica statistica	FIS/02	6	II
Ottica	FIS/01	6	II
Tecnologie fisiche e beni culturali	FIS/07	6	II

È consentito inserire, tra gli insegnamenti soprannumerari del piano di studio del corso di Laurea, al massimo tre insegnamenti (per un massimo di 24 CFU) appartenenti all'offerta formativa delle Lauree Magistrali, nel rispetto delle eventuali propedeuticità stabilite. Allo studente, all'atto dell'iscrizione alla Laurea Magistrale, è data la possibilità di chiedere il riconoscimento degli esami svolti in soprannumero.

Agli studenti interessati all'insegnamento nella Scuola Secondaria di primo e di secondo grado si ricorda che il Decreto del Presidente della Repubblica 14 febbraio 2016, n. 19 stabilisce i titoli di accesso necessari per accedere ai percorsi di Abilitazione nelle varie classi di insegnamento. Secondo tale decreto, la laurea Magistrale in Scienze Fisiche (LM 17) è titolo di accesso alla classe di abilitazione A-20 FISICA (ex 38/A) e alla Classe di Abilitazione A-27 MATEMATICA E FISICA (ex 49/A). Sono richiesti invece titoli specifici per l'accesso alla classe A-28 MATEMATICA E SCIENZE (ex 59/A Scienze matematiche, Chimiche, Fisiche e Naturali nella scuola media) e per la Classe A-26 MATEMATICA (ex 47/A). In particolare:

- per la classe A-28 MATEMATICA E SCIENZE la Laurea Magistrale in Scienze Fisiche conseguita dall'a.a. 2019/2020, è titolo di accesso purché il piano di studi, fra laurea triennale e laurea magistrale, abbia previsto almeno 132 crediti nei settori scientifico disciplinari MAT, FIS, CHIM, GEO, BIO, INF/01, INF-ING/05, di cui almeno 30 in MAT, 12 in FIS, 6 in CHIM, 6 in GEO, 6 in BIO, 6 in INF/01 o in ING-INF/05 o in SECS-S/01, nonché, dei predetti 132 crediti, almeno 90 crediti nel corso della laurea triennale, articolati come segue: almeno 12 in MAT, almeno 6 in FIS, almeno 6 in CHIM o GEO, almeno 6 in INF/01 o ING-INF/05 o SECS-S/01.
- per la classe A -26 MATEMATICA (ex 47/A) è richiesto che i Laureati Magistrali in Scienze Fisiche abbiano almeno 80 crediti di Matematica nei settori scientifico disciplinari MAT/02, 03, 05, 06, 08.

La tabella delle nuove classi di concorso con i relativi titoli di accesso è reperibile all'indirizzo:
<http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2016/2/22/16G00026/sg>.

Inoltre, il decreto legislativo del 13 aprile 2017, n.59, Art. 5 stabilisce che per l'accesso al concorso per i posti di docente è necessario, oltre al possesso della Laurea Magistrale, il possesso di “24 crediti formativi universitari o accademici, di seguito denominati CFU/CFA, acquisiti in forma curricolare, aggiuntiva o extra curricolare nelle discipline antro-po- psico-pedagogiche e nelle metodologie e tecnologie didattiche, garantendo comunque il possesso di almeno sei crediti in ciascuno di almeno tre dei seguenti quattro ambiti disciplinari: pedagogia, pedagogia speciale e didattica dell'inclusione; psicologia; antropologia; metodologie e tecnologie didattiche.”

Vedi: <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2017/05/16/17G00067/sg>, Art.5 - requisiti di accesso.

Piano di studi per studenti a tempo parziale della Laurea Triennale in Fisica

I Anno (30 CFU)

I semestre

Analisi matematica I	9 CFU
Algebra lineare	9 CFU

II semestre

Meccanica e termodinamica	12 CFU
Modulo I – Meccanica (6 CFU)	
Modulo II – Termodinamica (6 CFU)	

II Anno (30 CFU)

I semestre

Esperimentazioni di fisica I*	0 CFU
Modulo I – Misure fisiche I (6 CFU)	
Chimica	6 CFU

II semestre

Complementi di analisi matematica I	6 CFU
Metodi informatici della fisica	6 CFU
Esperimentazioni di fisica I*	12 CFU
Modulo II – Laboratorio di fisica I (6 CFU)	

III Anno (27 CFU)

I semestre

Complementi di analisi matematica II	6 CFU
Elettromagnetismo I	6 CFU

II semestre

Elettromagnetismo II	6 CFU
Metodi matematici della fisica I	6 CFU
Lingua inglese	3 CFU

IV Anno (27 CFU)

I semestre

Esperimentazioni di fisica II*	0 CFU
Modulo I – Misure fisiche II, I parte (3 CFU)	
Meccanica razionale e analitica	9 CFU

II semestre

Introduzione alla fisica moderna	6 CFU
Esperimentazioni di fisica II*	12 CFU
Modulo I – Misure fisiche II, II parte (3 CFU)	
Modulo II – Laboratorio di fisica II (6 CFU)	

* Per tali insegnamenti i crediti associati ai singoli moduli saranno attribuiti al termine dell'esame relativo all'ultimo modulo o all'intero insegnamento.

V Anno (36 CFU)***I semestre***

Meccanica quantistica Modulo A + Modulo B	12 CFU
Metodi matematici della fisica II	6 CFU

II semestre

Struttura della materia	12 CFU
Insegnamento a scelta	6 CFU

VI Anno (30 CFU)***I semestre***

Laboratorio di fisica III	6 CFU
Introduzione alla fisica nucleare	6 CFU

II semestre

Introduzione alla fisica subnucleare	6 CFU
Insegnamento a scelta	6 CFU
Prova finale	6 CFU

Certificazioni internazionali che esonerano dall'esame di Lingua Inglese**Livello B2 del Council of Europe – Tabella di Corrispondenza del Voto**

<i>Livello/certificazione</i>	<i>Risultato</i>	<i>Giudizio di valutazione</i>
B2		
Cambridge FCE	A	Ottimo
	B	Distinto
	C	Buono
IELTS 5.5-6.5	6.5+	Ottimo
	6.0	Distinto
	5.5	Buono
TOEFL iBT (Internet Based Test) 87-109	103+	Ottimo
	95-102	Distinto
	87-94	Buono
Trinity ISE II	Distinction	Ottimo
	Merit	Distinto
	Pass	Buono

Gli studenti in possesso di certificazioni di livello C1 e C2 sono esonerati dall'esame e viene loro attribuito il giudizio "ottimo".

LINEAMENTI DEI CORSI DELLA LAUREA TRIENNALE

Qui di seguito sono riportati, in ordine alfabetico, i programmi degli insegnamenti impartiti nel corso di Laurea in Fisica.

ALGEBRA LINEARE (MAT/03)

G. Pirola, P. Frediani

Obiettivi formativi

Si vogliono fornire le nozioni elementari di algebra lineare al fine di introdurre lo studente al linguaggio dei vettori e delle matrici. Non verranno trascurate le applicazioni ai sistemi lineari e alla geometria analitica.

Prerequisiti

Algebra elementare, calcolo di base

Programma

Spazi vettoriali, generatori, dipendenza lineare, basi.

Problemi lineari, sistemi lineari, matrici, rango, determinante.

Applicazioni lineari; coordinate e cambiamento di coordinate.

Operatori; autovalori e autovettori; diagonalizzazione.

Forme bilineari e prodotti scalari, segnatura.

Vettori geometrici e riferimenti; rette e piani nello spazio, esempi di curve e superficie (coniche, sfere, coni e cilindri).

Bibliografia

E. Sernesi "Geometria 1", Bollati Boringhieri.

S. Lang: "Algebra Lineare", Bollati Boringhieri.

Dispense fornite dal docente.

Modalità di esame

Scritto e Orale

ANALISI MATEMATICA 1 (MAT/05)

G. Savarè

Obiettivi formativi

Lo scopo del corso è quello di fornire i concetti basilari dell'Analisi Matematica e le relative tecniche di calcolo per successioni, serie e funzioni di una variabile reale.

Prerequisiti

Le conoscenze di base fornite dalla scuola secondaria

Programma

Dopo una breve introduzione di alcune nozioni preliminari (logica, insiemi, relazioni), verranno ricordate le principali proprietà dei numeri reali, dei numeri complessi, e dei vettori negli spazi euclidei. Questi saranno l'ambiente naturale per introdurre le prime nozioni metriche e topologiche, necessarie per studiare in modo appropriato l'operazione di limite (di funzioni e successioni) e la continuità, con una particolare attenzione al caso delle funzioni reali di variabile reale.

Verranno quindi studiate alcune delle proprietà fondamentali delle funzioni continue, relative alla compattezza e alla connessione (esistenza di massimi e minimi, teorema degli zeri). La nozione di limite verrà poi applicata allo studio delle serie, con un cenno alla teoria delle somme infinite.

Il calcolo differenziale per funzioni di una variabile e la teoria elementare dell'integrazione costituiranno gli altri due argomenti portanti del corso.

Fanno parte integrante del corso le esercitazioni, mirate a fornire le tecniche fondamentali di calcolo e ad approfondire in modo critico gli argomenti sviluppati nella parte teorica del corso.

Bibliografia

Giovanni Prodi: *Analisi Matematica*, Boringhieri, 1977.

Carlo Domenico Pagani, Sando Salsa: *Analisi Matematica 1*, Zanichelli, 2015.

Sandro Salsa, Annamaria Squellati: *Esercizi di Analisi Matematica 1*.

Modalità di esame

L'esame consiste in una prova scritta ed una prova orale relative all'intero programma del corso. La prova scritta è volta a verificare l'apprendimento delle tecniche di calcolo presentate durante le esercitazioni nonché l'acquisizione delle capacità analitiche e di risoluzione dei problemi e la conoscenza dei principali risultati teorici.

La prova orale, cui si accede a seconda del voto riportato nella prova scritta, approfondisce i temi della prova scritta e la comprensione della teoria presentata durante il corso.

CHIMICA (CHIM/03)

M. Licchelli

Obiettivi formativi

Il corso si propone di illustrare i principi generali della chimica, di fare acquisire allo studente il linguaggio chimico di base e di farlo familiarizzare con i simboli e le convenzioni grafiche atte a rappresentare formule, strutture e processi chimici. Saranno affrontati in particolare argomenti quali la struttura atomica della materia, le proprietà periodiche degli elementi, il legame chimico nei composti ionici e covalenti, le interazioni intermolecolari e gli stati di aggregazione, la cinetica chimica, l'equilibrio nei processi chimici, acidi e basi, equilibri di ossido-riduzione e processi elettrochimici. Saranno inoltre forniti elementi di chimica inorganica e di chimica organica.

Al termine delle lezioni lo studente sarà in grado di interpretare alcune relazioni struttura-proprietà della materia, di applicare le conoscenze acquisite alla comprensione di processi chimici osservabili nella quotidianità, di spiegare dal punto di vista chimico il funzionamento di alcuni comuni dispositivi (es. pile e batterie) o lo svolgimento di determinati fenomeni (es. corrosione e passivazione).

Prerequisiti

Allo studente di questo corso viene richiesto il possesso o l'acquisizione di un'adeguata preparazione iniziale, e in particolare delle seguenti conoscenze e competenze: Matematica, Chimica e Fisica al livello dei programmi della scuola superiore.

Programma

La struttura dell'atomo. Orbitali atomici nell'atomo di idrogeno e in atomi poli-elettronici. La tavola periodica degli elementi e le proprietà periodiche. La massa degli atomi e la mole. Il legame ionico, reticoli ionici, energia di reticolo. Il legame covalente e la struttura delle molecole. Orbitali molecolari. Elettronegatività e polarità delle molecole. Le interazioni intermolecolari e gli stati di aggregazione. I gas, lo stato solido, le soluzioni. Le reazioni chimiche: velocità di reazione, legge di velocità, energia di attivazione, catalisi. Equilibrio chimico, costanti di equilibrio. Equilibri ionici in soluzione acquosa. Acidi e basi di Brønsted, pH. Acidi e basi di Lewis. Solubilità dei sali e reazioni di precipitazione. Equilibri di ossido-riduzione. Celle voltaiche e potenziali di elettrodo. L'equazione di Nernst. Introduzione alla chimica inorganica: proprietà chimiche dei principali composti del silicio e del carbonio. Cenni di chimica organica: idrocarburi e principali gruppi funzionali; materiali polimerici.

Bibliografia

R. H. Petrucci, F. J. Herring, J. D. Madura, C. Bissonnette, **Chimica Generale**, Piccin

W. L. Masterton, C. N. Hurley, **Chimica – Principi e reazioni**, Piccin

R Chang, **Fondamenti di Chimica Generale**, McGraw-Hill

K.W. Whitten, R.E Davis, M.L. Peck, G.G. Stanley, **Chimica Generale**, Piccin

M. Schiavello, L. Palmisano, **Fondamenti di chimica**, Edises

P. Atkins, L. Jones, **Principi di Chimica**, Zanichelli

Modalità di esame

Esame orale

COMPLEMENTI DI ANALISI MATEMATICA I (MAT/05)

E. Vitali

Obiettivi formativi

Il corso si propone di fornire la conoscenza di base degli argomenti di Analisi Matematica che sono la prosecuzione naturale dei contenuti dell'insegnamento di Analisi Matematica 1. In particolare verranno considerati gli aspetti e le tecniche analitiche fondamentali relative alle funzioni tra spazi euclidei.

Prerequisiti

Le conoscenze di base fornite dai corsi di Analisi Matematica 1 e Algebra lineare.

Programma

Derivate parziali, differenziale, gradiente e matrice jacobiana. Formula di Taylor e teorema del valor medio. Funzioni convesse. Massimi e minimi liberi e vincolati. Invertibilità e funzioni definite implicitamente.

Teoria della misura secondo Peano-Jordan, integrazione secondo Riemann in più variabili. Teoremi di riduzione (Fubini) e di cambiamento di variabile negli integrali multipli.

Bibliografia

Lezioni di analisi matematica vol.2 di Giovanni Prodi (Boringhieri)

Analisi matematica 2 di Carlo D. Pagani e Sandro Salsa (Zanichelli)

Sandro Salsa, Annamaria Squellati Esercizi di Analisi Matematica 2

Modalità di esame

L'esame è formato da una prova scritta e da una prova orale. La prima mira prevalentemente a verificare il livello di acquisizione delle principali tecniche analitiche e di calcolo esposte nel corso, assieme alla capacità di analisi di un problema matematico. Nella prova orale (cui si accede a seconda del voto riportato nella prova scritta) si cerca di approfondire la verifica dell'acquisizione del quadro teorico di riferimento nel quale sono collocati i principali argomenti trattati.

COMPLEMENTI DI ANALISI MATEMATICA II (MAT/05)

A. Segatti

Obiettivi formativi

Scopo del corso è integrare il programma di analisi matematica svolto nel primo anno e completare le conoscenze di base di analisi matematica degli studenti di un corso di laurea triennale in Fisica.

Prerequisiti

I contenuti di base dei corsi di Analisi matematica e di Algebra lineare del primo anno di corso.

Programma

Successioni e serie di funzioni, serie di potenze, serie di Fourier. Curve, integrali curvilinei, forme differenziali. Integrale di Lebesgue, teoremi di passaggio al limite sotto il segno di integrale, funzioni e insiemi misurabili.

Per ogni argomento verrà presentata una trattazione teorica e verranno proposti esempi ed esercizi.

Testi consigliati

G. Gilardi, Analisi matematica di base - McGraw Hill, 2011

N. Fusco, P. Marcellini e C. Sbordone, Elementi di Analisi Matematica due - Liguori, 2001

Lezioni di Analisi Matematica Vol.2 di Giovanni Prodi (Boringhieri)

Analisi Matematica 2 di Carlo D. Pagani & Sandro Salsa (Zanichelli)

Sandro Salsa, Annamaria Squellati Esercizi di Analisi Matematica 2

Materiale didattico reperibile sulla pagina web del corso.

Modalità di esame

L'esame è costituito da una prova scritta e da una prova orale. La prova scritta è volta a verificare il livello di comprensione delle tecniche analitiche e di calcolo presentate nel corso e la capacità di analisi di un problema matematico. La prova orale completa la prova scritta ed approfondisce la verifica della comprensione dei temi trattati durante il corso.

COMPLEMENTI DI FISICA DI BASE (FIS/08)

A. De Ambrosis

Obiettivi formativi

Fornire gli elementi base della teoria della relatività speciale e della meccanica statistica classica. Risolvere problemi e analizzare criticamente articoli di ricerca sull'insegnamento dei temi trattati.

Prerequisiti

Conoscenze di base di meccanica, termodinamica ed elettromagnetismo, come vengono fornite dai corsi della laurea triennale in Fisica e in Matematica.

Programma

Prima parte - Si propone un'introduzione ai concetti base della relatività speciale. In particolare, gli argomenti trattati riguardano: la definizione dell'intervallo invariante; l'idea di sistema di riferimento in caduta libera come sistema di riferimento inerziale, il carattere locale del sistema inerziale, la localizzazione degli eventi nello spazio-tempo; il principio di relatività, la relatività della simultaneità; la contrazione di Lorentz e il paradosso dei gemelli; la dimostrazione dell'invarianza dell'intervallo; trasformazioni di Lorentz; la rappresentazione degli eventi dello spazio-tempo e linee d'universo; regioni dello spaziotempo; momento-energia: conservazione, invarianza e sue conseguenze; massa di un sistema di particelle: creazione di particelle, fissione, fusione annichilazione.

Seconda parte - Introduzione alla Fisica Statistica. Descrizione statistica dei sistemi di particelle: numero di stati accessibili a un sistema macroscopico, vincoli, equilibrio e irreversibilità; Interazione termica: distribuzione di energia tra sistemi macroscopici, avvicinamento all'equilibrio termico, definizione di temperatura assoluta e di entropia; Sistemi in contatto con un termostato: la distribuzione canonica e applicazioni; distribuzione canonica nell'approssimazione classica: la distribuzione di Maxwell delle velocità, il teorema di equipartizione e applicazioni, il calore specifico dei solidi.

Sui vari argomenti trattati nel corso viene richiesta agli studenti la soluzione di problemi ed esercizi, alcuni dei quali vengono discussi a lezione.

Bibliografia

E. Taylor e J. Wheeler (1996) Fisica dello Spazio-tempo, Zanichelli, Bologna

F. Reif (1974) Fisica Statistica, Zanichelli

M.W. Zemansky, Calore e Termodinamica, Zanichelli.

Modalità di esame

Esame orale volto a verificare la comprensione degli argomenti trattati nelle due parti del corso. Per entrambe si valuterà l'acquisizione dei concetti principali, anche attraverso la soluzione da parte dello studente di semplici problemi.

ELETTRODINAMICA E RELATIVITÀ (FIS/02)

M. Carfora

Obiettivi formativi

Una esposizione avanzata della teoria della Relatività Speciale e delle sue applicazioni.

Prerequisiti

I corsi di base di fisica generale (meccanica ed elettromagnetismo), di analisi matematica e geometria. Alcune tecniche di algebra e geometria differenziale necessarie a sviluppare gli argomenti affrontati dal corso verranno introdotte e illustrate durante il corso stesso.

Programma

Trasformazioni di Lorentz e loro proprietà. Causalità e geometria dello spaziotempo di Minkowski. Struttura causale. Gruppo di Lorentz e gruppo di Poincaré. Legame fra il gruppo di Lorentz e $SL(2, \mathbb{C})$. Aberrazione luminosa e "Sky mapping". Spinori. Spinori di Dirac. Algebra tensoriale e forme differenziali sullo spazio di Minkowski. Dinamica e leggi di conservazione. Forze meccaniche e forze di tipo calore. Conservazione del 4-impulso e suo significato fisico. Applicazioni: Diffusione Compton, Compton inverso, calcolo dell'energia di soglia in una reazione subnucleare. Il tensore energia-impulso. Dinamica dei mezzi continui in relatività e legami con la teoria dei campi. Formulazione dell'elettromagnetismo nello spaziotempo di Minkowski. Proprietà del tensore di

Faraday e le trasformazioni dei campi elettromagnetici. Forme differenziali e elettromagnetismo. Duale di Hodge e codifferenziale. Formulazione delle equazioni di Maxwell in termini di 2-forme su Minkowski. Conservazione della carica e teorema di Stokes in Minkowski. 4-potenziale e invarianza di gauge. Il gauge di Lorenz. La funzione di Green ritardata per il 4-potenziale elettromagnetico, causalità e teoremi dei residui. Proprietà del 4-potenziale ritardato. Tensore energia-impulso per il campo elettromagnetico. Deduzione variazionale delle equazioni di Maxwell nello spaziotempo di Minkowski.

Bibliografia

W. Rindler "Relativity. Special, general, and cosmological" 2nd. Ed. Oxford Univ. Press, Oxford, 2006

Modalità di esame

Esame orale

ELETTROMAGNETISMO I (FIS/01)

M. Livan, D. Rebuzzi

Obiettivi formativi

Concetti fondamentali dell'Elettromagnetismo inclusa la sua formulazione quadridimensionale

Prerequisiti

Nozioni di meccanica ed analisi matematica

Programma Il corso parte dal concetto di carica elettrica per descrivere il campo elettrico statico ed il campo magnetico statico. Vengono quindi introdotti i campi variabili nel tempo fino alla loro completa descrizione tramite le Equazioni di Maxwell in forma integrale e differenziale. Segue una introduzione alla teoria della relatività ristretta con l'uso del formalismo quadridimensionale. Vengono discusse la cinematica, la dinamica ed infine l'elettromagnetismo per giungere alla scrittura delle Equazioni di Maxwell tramite il tensore di campo ed il quadripotenziale

Bibliografia

P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci: Fisica (Volume II) . EdiSES.

D. J. Griffith: Introduction to Electrodynamics. Pearson (per la parte di Relatività).

Modalità di esame

L'esame consiste in una prova scritta in cui sono proposti alcuni semplici problemi, seguita da una prova orale. Lo studente può sostenere la prova orale qualora nella prova scritta abbia ottenuto una votazione di almeno 40/100.

ELETTROMAGNETISMO II (FIS/01)

M. Patrini, M. Liscidini

Obiettivi formativi

Obiettivo del corso è fornire le conoscenze di base dell'elettromagnetismo nei mezzi materiali e ottica, partendo dall'osservazione sperimentale per giungere alla formulazione di leggi. Si intendono fornire allo studente conoscenze su: fenomeni elettrici e magnetici, statici e dinamici, nella materia; la teoria che permette la loro descrizione, con la formulazione delle equazioni di Maxwell nella materia; le onde elettromagnetiche e i fenomeni di ottica ondulatoria e geometrica. Ci si attende che da questo e precedenti corsi di fisica generale, lo studente sviluppi capacità di comprendere fenomeni naturali e applicazioni diffuse che possono essere interpretati anche solo sulla base della fisica classica, non richiedendo teorie quantistiche.

Prerequisiti

Analisi matematica, Meccanica, Termodinamica, Elettromagnetismo I.

Programma

Proprietà elettriche della materia: suscettività elettrica, dielettrici e conduttori, polarizzazione, spostamento elettrico, energia elettrostatica.

Proprietà magnetiche della materia: suscettività magnetica, classificazione di materiali magnetici, magnetizzazione, campo magnetico, energia magnetica.

Fenomeni ondulatori. Onde elettromagnetiche nel vuoto e nei mezzi dispersivi e/o assorbenti: proprietà e fenomeni correlati.

Ottica fisica: riflessione e rifrazione; polarizzazione; risposta ottica in mezzi anisotropi; interferenza; diffrazione. Ottica geometrica in specchi, lenti e strumenti ottici.

Cenni a emissione e assorbimento di radiazione, e a dispositivi elettronici e fotonici basati su semiconduttori.

Bibliografia

P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci, Fisica Vol.2, Ed. Edises.

L. Lovitch, S. Rosati, Fisica Generale Vol.2, Casa Editrice Ambrosiana.

D.J. Griffiths, Introduction to electrodynamics, Prentice Hall.

Modalità di esame

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova scritta e un successivo esame orale. La prova scritta mira ad accertare le abilità nel risolvere problemi nell'ambito degli argomenti affrontati nel corso: essa non comporta una soglia di giudizio per consentire l'accesso alla prova orale; la sua validità è limitata agli appelli di una stessa sessione d'esame. Nella prova orale lo studente deve mostrare la conoscenza e la comprensione di fenomeni, leggi e applicazioni dell'elettromagnetismo nella materia e dell'ottica; il voto finale, espresso in trentesimi, tiene conto delle valutazioni riportate in entrambe le prove.

ESPERIMENTAZIONI DI FISICA I (FIS/01)

M. Galli, P. Montagna

Obiettivi formativi

Il corso è diviso in due moduli:

Misure Fisiche I (I semestre, 6 crediti); Laboratorio di Fisica I (II semestre, 6 crediti).

Il primo modulo si propone di fornire una introduzione ai fondamenti di metodologia della misura e alle tecniche base di analisi dati. Nel secondo modulo questi concetti vengono applicati all'analisi di una serie di esperienze pratiche svolte in laboratorio, che hanno lo scopo di rendere familiare lo studente con le basi del metodo sperimentale. Inoltre alcune lezioni frontali su argomenti di meccanica ondulatoria, sui quali viene condotta la maggior parte delle esperienze, completano quanto trattato nel corso di Meccanica e Termodinamica.

Prerequisiti

Fondamenti di algebra e trigonometria. I concetti di analisi necessari, ove non ancora introdotti nei corsi istituzionali, vengono richiamati dal docente.

Programma

Nel primo modulo le lezioni frontali trattano la teoria degli errori di misura, la rappresentazione grafica dei dati e i primi elementi di teoria della probabilità e di statistica necessari a dare un fondamento alle tecniche di trattamento dei dati sperimentali. Nel secondo modulo, le lezioni frontali riguardano le oscillazioni, l'elasticità e le onde meccaniche, con cenni di acustica. Le esperienze di laboratorio vengono svolte principalmente nell'ambito della meccanica e termodinamica, e sono comuni a tutti gli studenti. Per ogni esperienza è richiesta una relazione scritta.

Modalità di esame

L'esame consiste in una prova scritta a soglia, con problemi e domande, seguita da una prova orale, sul programma svolto nel I modulo, e in una prova orale sul programma svolto nelle lezioni frontali del II modulo, durante la quale vengono inoltre discusse le relazioni portate dagli studenti sulle esperienze svolte in laboratorio.

I modulo: MISURE FISICHE I

P. Montagna

Programma

Nozioni introduttive. Calcoli numerici: uso delle potenze di 10 - calcoli approssimati e ordini di grandezza - notazione scientifica - cifre significative - sistemi di unità di misura - equazioni dimensionali e analisi dimensionale - cambiamento di unità di misura.

Introduzione alla misurazione. Misure dirette, indirette e con strumenti tarati - accuratezza e precisione di una misura-caratteristiche degli strumenti di misura.

Introduzione allo studio delle incertezze. Tipi di errore - espressione dell'incertezza – incertezza assoluta e relativa - analisi statistica degli errori casuali - propagazione delle incertezze (per misure statisticamente indipendenti).

Tecniche di trattamento dati. Statistica descrittiva: distribuzioni di frequenza e istogrammi, indici di posizione centrale e di dispersione. Grafici e analisi grafica dei dati: cambiamenti di variabile, linearizzazione, determinazione della pendenza e dell'intercetta, scale funzionali, grafici semilogaritmici e bilogaritmici - interpolazione grafica, lineare e da una tabella.

Introduzione alla probabilità. Spazio campionario ed eventi - definizione classica e frequentistica di probabilità - cenni alla definizione assiomatica - addizione e moltiplicazione di eventi e probabilità per eventi composti - probabilità condizionata - richiami di calcolo combinatorio.

Distribuzioni di variabile aleatoria. Variabili aleatorie - distribuzioni di probabilità per variabili discrete e continue -caratteristiche numeriche delle popolazioni - distribuzione binomiale - distribuzione di Poisson – distribuzione normale o di Gauss - approssimazione di Gauss alle distribuzioni binomiale e poissoniana – distribuzione uniforme e triangolare.

Cenni a elementi di statistica inferenziale ed elaborazione dei dati sperimentali.

Bibliografia

John Taylor, Introduzione all'analisi degli errori, (ed. Zanichelli).

G. Cannelli, Metodologie sperimentali in Fisica (ed. EdiSES).

Paolo Fornasini, The Uncertainty in Physical Measurements (ed. Springer).

Dapor-Ropele, Elaborazione dei dati sperimentali (ed. Springer).

Il modulo: LABORATORIO DI FISICA I

M. Galli

Argomenti delle lezioni

Oscillazioni Moto armonico semplice – Esempi di oscillatore armonico (sistema massa-molla, pendolo semplice) - Composizione di moti armonici – Teorema di Fourier (enunciato) – Aspetti non lineari: non linearità della forza di richiamo del pendolo e variazione del periodo con l'ampiezza – Oscillazioni smorzate, oscillazioni forzate e risonanza – Analogia tra oscillatori in diversi campi della fisica.

Moto di un corpo sottoposto a forze viscosse Sedimentazione.

Elasticità Elasticità per trazione e compressione, di volume, di torsione e scorrimento – Moduli elastici e relazioni tra di essi – Pendolo (bilancia) di torsione – Isteresi meccanica.

Onde meccaniche Propagazione per onde – Espressione matematica della propagazione – Equazione di D'Alembert – Onde sinusoidali – Velocità di gruppo (cenno) - Onde in una corda tesa e in un tubo contenente un fluido – Onde sonore – Propagazione dell'energia in un'onda – Principio di sovrapposizione – Interferenza , battimenti, onde stazionarie – Modi normali di vibrazione (cenno) – Sorgenti coerenti e interferenza nello spazio – Diffrazione - Principio di Huygens - Riflessione e rifrazione delle onde – Effetto Doppler –Onda d'urto- Cenni di acustica.

Esperienze di laboratorio

In laboratorio vengono condotte delle esperienze (o insiemi di esperienze) su diversi argomenti trattati in questo corso e nel corso di Meccanica e Termodinamica, proposte a tutti gli studenti in piccoli gruppi, scelte tra questi argomenti:

Studio della forza di richiamo di una molla - Studio della forza di richiamo del pendolo - Studio del moto armonico e dei battimenti con pendoli - Sedimentazione - Bilancia di Mohr e viscosimetro - Misura di g con un pendolo e con un piano inclinato - esperimenti sulle oscillazioni - Tubo di Quincke - Onde stazionarie su una corda

Bibliografia

Mazzoldi, Nigro, Voci - Fisica (ed. EdiSES).

ESPERIMENTAZIONI DI FISICA II (FIS/01)

A. Rotondi, P. Vitulo

I modulo: MISURE FISICHE II

A. Rotondi

Calcolo delle probabilità, algebra delle probabilità, distribuzioni di probabilità in una o più dimensioni. Statistica: intervalli di stima frequentisti e verifica delle ipotesi semplici. Analisi dei dati: incertezze di tipo sistematico e statistico, propagazione degli errori, analisi dei dati in esperimenti di fisica.

Bibliografia

A. Rotondi, P. Pedroni e A. Pievatolo, Probabilità Statistica e Simulazione, Springer (2005).

II modulo: LABORATORIO DI FISICA II

P. Vitulo

Obiettivi formativi

Il corso ha lo scopo di fornire le modalità operative dei circuiti elettrici fondamentali e della strumentazione di misura di grandezze elettriche

Programma

Studio dei circuiti elettrici fondamentali comprendenti elementi attivi e passivi, lineari e non lineari: dal partitore resistivo ad un radoricevitore AM. Circuiti digitali: reti combinatorie e sequenziali fondamentali. Misura della velocità della luce. Ogni argomento trattato a lezione viene seguito da esercitazioni pratiche eseguite in un laboratorio attrezzato con strumentazione standard.

Bibliografia

C.K. Alexander e M.N.O. Sadiku, Circuiti Elettrici, McGraw Hill (2008)

Dispense del corso disponibili in www.unipv.it/~rotondi

Modalità di esame

Prova pratica di laboratorio ed esame orale.

EQUAZIONI DIFFERENZIALI E SISTEMI DINAMICI (MAT/05)

G. F. Schimperna

Obiettivi formativi

Acquisire i risultati e le tecniche fondamentali per lo studio e il trattamento delle equazioni differenziali, dei sistemi lineari di equazioni differenziali e di semplici sistemi dinamici piani. Essere in grado di applicare i metodi propri della teoria delle equazioni differenziali ordinarie allo studio di problemi fisici concreti.

Prerequisiti

Per poter affrontare questo insegnamento con la dovuta preparazione di base è necessario avere acquisito i contenuti dei corsi di Analisi matematica e di Algebra lineare del primo anno di corso, in particolare: calcolo differenziale ed integrale per funzioni di una o più variabili, matrici e trasformazioni lineari, successioni e serie, serie di potenze, forme differenziali, coordinate polari.

Programma

Esempi di modellizzazione mediante equazioni differenziali. Risultati generali sui problemi ai valori iniziali (esistenza e unicità, prolungamento delle soluzioni, teoremi di confronto, dipendenza delle soluzioni dai dati). Tecniche elementari di integrazione per alcuni tipi di equazioni. Equazioni e sistemi differenziali lineari (risultati generali e calcolo della matrice esponenziale). Teorema di Peano sull'esistenza delle soluzioni in ipotesi che non garantiscono l'unicità. Comportamento asintotico e stabilità (caso lineare, metodo di linearizzazione e funzioni di Lyapunov).

Bibliografia

M. W. Hirsch, S. Smale, R. L. Devaney: Differential equations, dynamical systems, and an introduction to chaos. Pure and Applied Mathematics, Vol. 60. Elsevier/Academic Press, Amsterdam, 2004.

S. Salsa, A. Squellati: Esercizi di analisi matematica 2. Masson, 1994.

G. Gilardi, Analisi Matematica 3, McGraw- Hill Italia.
Saranno inoltre fornite dispense.

Modalità di esame

Prova scritta e prova orale.

Lo scritto sarà dedicato alla risoluzione di esercizi. Alcuni di questi saranno di carattere teorico (dimostrazioni di semplici risultati oppure costruzione di esempi), altri invece mireranno a verificare l'acquisizione delle tecniche computazionali sviluppate nel corso.

La prova orale sarà rivolta a verificare l'apprendimento dei principali risultati della teoria e la capacità di illustrarli tramite esempi

FISICA DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI (FIS/04)

S. Altieri

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti di base relativi alla dosimetria delle radiazioni ionizzanti.

Prerequisiti

Nozioni di fisica nucleare e fisica quantistica.

Programma

Il corso si propone di fornire allo studente i principi di base della dosimetria delle radiazioni ionizzanti: particelle cariche, fotoni e neutroni. Grandezze per la descrizione del campo di radiazioni e dell'interazione radiazione – materia: flusso, fluenza, kerma, dose assorbita, esposizione, coefficienti di attenuazione, di trasferimento e di assorbimento, fattori kerma. Interazione con la materia delle particelle cariche pesanti e degli elettroni, dei fotoni e dei neutroni, con particolare riferimento alla deposizione di energia nella materia biologica. Teoria della cavità per cavità piccole (Bragg-Gray), intermedie (Spencer) e grandi (Burlin) e problematiche relative all'equilibrio di radiazione e all'accoppiamento dei materiali dosimetrici. Cenni di microdosimetria: contatori di Rossi, energia lineale ed energia specifica e relative distribuzioni riferite a siti biologici. Cenni sugli effetti biologici delle radiazioni ionizzanti, sul fondo naturale e sulla radioprotezione.

Bibliografia

F. H. Attix, Introduction to radiological Physics and Dosimetry. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

W. R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment. Springer-Verlag Berlin

J. R. Lamarsh, Introduction to nuclear reactor theory. Addison-Wesley Publishing Company

Modalità di esame

Esame orale. Per la prova di esame si raccomanda di focalizzarsi sugli aspetti fisici degli argomenti trattati (andamenti qualitativi, grafici, metodi per misurare le varie proprietà...) piuttosto che sullo studio dettagliato delle derivazioni matematiche.

INTRODUZIONE ALL'ASTRONOMIA (FIS/05)

P. Caraveo

Obiettivi formativi

Dare una visione generale dell'astronomia dei grandi problemi che studia, di quanto è stato capito e di quanto rimane da capire. fino a coprire i risultati più attuali

Prerequisiti

corso di fisica 1. I corsi di meccanica razionale e introduzione alla fisica delle particelle sono consigliati

Programma

Emissione termica e non termica dai corpi celesti

Astronomia da terra e dallo spazio

Il sistema solare: descrizione del Sole, dei pianeti, comete e asteroidi.

Altri sistemi planetari

Evoluzione stellare: osservabili, diagramma HR, cenni di nucleosintesi, evoluzione delle stelle in funzione della loro massa, fine della vita delle stelle e trasformazione in oggetti compatti: nane bianche, stelle di neutroni buchi neri

La nostra galassia: osservazioni radio per tracciare la struttura, teoria della formazione della struttura a spirale, curva di rotazione e implicazioni circa l'esistenza della materia oscura

Galassie esterne: classificazione, gruppo locale, ammassi di galassie, galassie attive, quasars

Cenni di cosmologia: legge di Hubble, candele standard, radiazione di fondo cosmica, materia oscura ed energia oscura.

Bibliografia

The Cosmos: Astronomy in the New Millennium, Pasachoff & Filippenko.

L'Esplorazione dello spazio, G. Bignami, Il Mulino.

I pianeti Extrasolari, G. Tinetti, Il Mulino.

I Marziani Siamo noi, G. Bignami, Zanichelli.

Osservare l'Universo, P. De Bernardis, Il Mulino.

Modalità di esame

Tre compiti ed esame orale.

INTRODUZIONE ALLA FISICA DEI SOLIDI (FIS/03)

M. Patrini, M. Mariani

Obiettivi formativi

Il corso si propone di far acquisire allo studente la conoscenza di base dei principali fenomeni collettivi nei solidi, attraverso una descrizione fenomenologica e il confronto fra l'approccio teorico e lo studio sperimentale. In tal modo, lo studente viene introdotto alle più diffuse tecniche utilizzate nello studio dei solidi, e ne conosce l'utilizzo in indagini su materiali reali.

Prerequisiti

Matematica di base, Fisica Generale e nozioni elementari di Meccanica Quantistica.

Programma

Classificazione dei solidi (isolanti, semiconduttori intrinseci ed estrinseci, metalli, materiali magnetici, superconduttori), e introduzione alla struttura elettronica e vibrazionale con cenni di meccanica statistica. Descrizione delle eccitazioni elementari nei solidi, con riferimento alle tecniche più diffuse di studio sperimentale. Verrà data evidenza agli effetti e fenomeni di maggiore rilevanza, quali fononi, processi ottici in semiconduttori, effetto Raman, plasmoni, effetti di bassa dimensionalità, effetto Hall quantistico, risonanza magnetica nucleare, risonanza muonica, superconduttività ad alta temperatura, condensazione di Bose-Einstein, magnetismo molecolare e nanomagnetismo. Sono previste lezioni tematiche dedicate a materiali e tecnologie di recente sviluppo e di maggiore interesse applicativo e eventuali visite presso laboratori di ricerca.

Bibliografia

C. Kittel, Introduzione alla Fisica dello Stato Solido (Casa Editrice Ambrosiana).

Materiale specifico fornito dai docenti.

Modalità di esame

Per sostenere l'esame è richiesta una breve relazione scritta (al massimo di 10 pagine) su un argomento concordato coi docenti e legato agli argomenti trattati nel corso; la relazione verrà illustrata durante la prova orale mediante videoproiezione (al massimo di 15 **slides** in 20 minuti). La valutazione finale si baserà sulla qualità della stesura della relazione e dell'esposizione, e sul grado di approfondimento e comprensione degli argomenti affrontati nel corso, oggetto di ulteriori domande da parte dei docenti.

INTRODUZIONE ALLA FISICA MODERNA (FIS/02)

G. Montagna

Obiettivi formativi

Si discutono i principali fenomeni, e relative interpretazioni, che hanno sancito la crisi della fisica classica. Il corso si propone inoltre di fornire un'introduzione ai principali aspetti concettuali e metodi teorici di base in uso in meccanica statistica (classica) e meccanica quantistica.

Prerequisiti

Elementi e risultati di fisica classica (meccanica analitica, elettrodinamica e termodinamica)

Programma

Inadeguatezza della descrizione dei fenomeni fisici alla luce della fisica classica di Newton e Maxwell. Concetti fondamentali e metodi teorici basati sulla meccanica statistica (classica) e sulla meccanica quantistica di uso corrente in fisica moderna. Analisi degli effetti quantistici in alcuni esempi di fenomeni fisici.

Bibliografia

S. Boffi, Da Laplace a Heisenberg, un'introduzione alla meccanica quantistica e alle sue applicazioni, Pavia University Press.

D. J. Griffiths, Introduzione alla meccanica quantistica, Casa editrice Ambrosiana.

Modalità di esame

Esame orale. Lo studente dovrà sapere illustrare i principali fenomeni di crisi della fisica classica. Dovrà dimostrare di aver appreso gli aspetti concettuali più rilevanti alla base della Meccanica Quantistica.

INTRODUZIONE ALLA FISICA NUCLEARE (FIS/04)

C. Giusti

Obiettivi formativi

Apprendimento di concetti e nozioni di base di fisica nucleare.

Prerequisiti

Conoscenza della fisica classica.

Programma

Struttura atomica e nucleo. Radioattività e esperienza di Rutherford. Proprietà generali dei nuclei atomici. Modelli nucleari. Interazione nucleare. Reazioni nucleari, reazioni con neutroni, fissioni e fusione. Decadimenti alfa, beta e gamma. Acceleratori, rivelatori, strumenti e metodi nucleari.

Bibliografia

R.J. Blin-Stoyle Nuclear and Particle Physics, Chapman & Hall.

E.J. Burge, Atomic Nuclei and Their Particles, Oxford University Press.

J. Lilley, Nuclear Physics, Principles and Applications, Wiley.

Modalità di esame

Esame orale.

INTRODUZIONE ALLA FISICA SUBNUCLEARE (FIS/04)

A. Rimoldi

Obiettivi formativi

Apprendimento dei fondamenti della fisica subnucleare

Prerequisiti

Conoscenza dell'analisi matematica, della meccanica quantistica, di elementi di relatività ristretta; conoscenze elementari di fisica nucleare e di struttura della materia.

Programma

Il corso intende fornire conoscenze di base della Fisica Subnucleare mediante una descrizione fenomenologica qualitativa e quantitativa delle particelle elementari e delle loro interazioni. Una volta forniti gli elementi di base di cinematica relativistica, sono illustrate le leggi di conservazione nelle

reazioni nucleari. Nella parte introduttiva del corso vengono illustrate le scoperte che cronologicamente hanno contribuito a creare le basi delle conoscenze attuali nel campo della fisica delle particelle e vengono descritti brevemente il modello a quark degli adroni e la scoperta dei quark pesanti dal punto di vista fenomenologico. La quasi totalità del corso viene dedicata all'illustrazione del Modello Standard che rappresenta uno dei trionfi della fisica moderna. Con la scoperta del bosone di Higgs all'LHC tutte le particelle previste dal modello sono state scoperte. Lo scopo del corso è di fornire strumenti di studio e di analisi di molti processi fondamentali e di fondare i risultati sperimentali su basi teoriche. La parte matematica del corso è ristretta all'essenziale, ma è rigorosa per una chiara spiegazione dei principi fisici alla base dei fenomeni descritti.

Bibliografia

M. Thomson: Modern Particle Physics.

D. H. Perkins: Introduction to high energy physics, 2000, Cambridge Univ. Press.

D. Griffith: Introduction to Particles Physics, Wiley.

Modalità di esame

Esame Orale.

Allo studente viene richiesta la comprensione dei meccanismi di base di approccio e studio di una reazione, l'impostazione dell'approccio teorico, il commento e la giustificazione dei risultati sperimentali osservati.

LABORATORIO DI FISICA III (FIS/01)

F. Marabelli

Obiettivi formativi

Apprendimento delle basi fisiche di funzionamento dei principali dispositivi microelettronici ed optoelettronici.

Prerequisiti

Nozioni di base di elettromagnetismo.

Programma

Generalità sui semiconduttori. Aspetti fondamentali dei dispositivi elettronici e delle loro proprietà circuitali: diodi a giunzione, transistor bipolare a giunzione, transistor a effetto di campo. Cenni di ottica e applicazioni optoelettroniche e fotoniche, LED e laser a semiconduttore. Il corso sarà corredato da esercitazioni pratiche su circuiti elementari, semplici configurazioni di ottica e l'uso di programmi di simulazione.

Bibliografia

Circuiti per la microelettronica, A.S. Sedra, K.C. Smith, Ed. Ingegneria 2000, Roma 1996.

Modalità di esame

Esame scritto e orale. Sono previsti un test a risposte multiple e una breve relazione sulle esperienze svolte. La prova orale verte sui principi fisici di funzionamento dei dispositivi.

LINGUA INGLESE (L-LIN/12)

E. Ramazzina

Obiettivi formativi

Il corso di lingua inglese si propone di sviluppare l'abilità di comprensione di testi scritti di argomento scientifico insieme al conseguimento di una più approfondita competenza comunicativa.

Programma

Il programma prevede una selezione di testi scientifici specifici delle discipline principali del corso di studio. I testi sono analizzati sia relativamente al contenuto, sia rispetto al lessico specifico e alle strutture sintattico-grammaticali caratterizzanti la lingua inglese nel suo utilizzo in ambito scientifico.

Bibliografia

G. Bendelli, English from Science – Mondadori Università.

M. Vince, English Grammar in Context (Intermediate) – Macmillan (soprattutto per gli studenti del corso iniziale).

Modalità d'esame

L'esame, che sarà orale, consisterà nella lettura, traduzione e commento di un brano scelto tra i testi in programma o testi affini, e in un colloquio incentrato sugli argomenti trattati durante il corso.

MECCANICA E TERMODINAMICA (FIS/01)

A. Rotondi, C. Riccardi

Obiettivi formativi

Apprendimento delle nozioni fondamentali della meccanica classica newtoniana. Risoluzione dei problemi di meccanica applicando gli strumenti dell'analisi matematica

Fornire allo studente la conoscenza delle leggi fondamentali della termodinamica classica per gli stati d'equilibrio, sia per via fenomenologica che assiomatica. Mostrare i legami con la meccanica statistica.

Illustrazione, attraverso gli argomenti, i problemi e gli esempi di Meccanica e Termodinamica trattati, del metodo sperimentale che sta alla base della Fisica.

Prerequisiti

Aver seguito il corso di Analisi Matematica I.

I modulo: MECCANICA

A. Rotondi

Meccanica classica newtoniana: cinematica del punto, dinamica del punto, moti relativi, dinamica dei sistemi di punti materiali, gravitazione, dinamica e statica del corpo rigido. Cenni di meccanica relativistica. Verrà data molta enfasi agli esempi numerici e risoluzione di problemi.

Bibliografia

P. Mazzoldi, M. Nigro e C. Voci, Fisica, Vol I, ed EdiSES, Napoli.

Il modulo: TERMODINAMICA

C. Riccardi

Proprietà meccaniche dei fluidi e fondamenti di termodinamica. Il principio zero, termometria e calorimetria. Il problema fondamentale della termodinamica, stati d'equilibrio, variabili estensive ed intensive. Equazioni di stato e trasformazioni di un sistema termodinamico. Gas ideali e gas reali. Primo e secondo principio, proprietà di energia ed entropia, terzo principio. Potenziali termodinamici, relazioni di Maxwell e transizioni di fase. Teoria cinetica dei gas e cenni di Termodinamica statistica.

Bibliografia

P. Mazzoldi, M. Nigro e C. Voci, Fisica, Vol I, ed EdiSES, Napoli.

Modalità di esame

Prove scritte ed esami orali

MECCANICA QUANTISTICA (FIS/02)

G. D'Ariano, O. Nicrosini, P. Perinotti

Obiettivi formativi

Fornire conoscenza di base operativa della meccanica quantistica non relativistica.

Prerequisiti

Conoscenza della Meccanica ed Elettromagnetismo classici

Programma

Principi e struttura matematica della meccanica quantistica. Sistemi di una o più particelle.

Sviluppi formali. Teoria delle perturbazioni. Altri metodi approssimati. Processi di diffusione.

Bibliografia

David. J. Griffiths, Introduzione alla meccanica quantistica.

Integrazioni: appunti di A. Rimini (<http://www.unipv.it/~rimini/MeccanicaQuantistica/Home.html>).

J.J. Sakurai, Meccanica quantistica moderna.

Modalità di esame

Esame scritto a soglia seguito da esame orale (per chi supera la prova scritta).

Modulo A

G. D'Ariano

Obiettivi formativi Si veda descrizione generale del corso

Programma

Breve introduzione storica (Heisenberg microscope, effetto fotoelettrico, relazioni di Planck e de Broglie, atomo di Bohr, doppia fenditura). Derivazione euristica dell'equazione di Schrödinger dovuta a Fermi. Assiomatizzazione e struttura matematica della teoria derivate a partire dall'equazione di Schrödinger. Oscillatore armonico e stati coerenti. Momento angolare. Atomo di idrogeno. Prodotto tensore e sistemi di una o più particelle. Sviluppi formali: regola di Born generale e matrice densità. Purificazione di stati. Entanglement. Teoria degli ensemble statistici. Gas ideali quantistici di particelle indistinguibili. Nonlocalità quantistica. Il gatto di Schrödinger e la riduzione di stato di von Neumann.

Bibliografia

Si veda descrizione generale

Modalità di esame

Si veda descrizione generale

Modulo B

O. Nicrosini, P. Perinotti (esercitazioni)

Prerequisiti

Oltre a quanto riportato in descrizione generale, aver seguito il Modulo A.

Programma

Descrizioni dell'evoluzione temporale: Schrödinger, Heisenberg, Interazione. L'operatore di evoluzione temporale per hamiltoniane tempo-dipendenti: espansione di Dyson. Teoria delle perturbazioni stazionarie non degenere e degenere. Alcune hamiltoniane perturbative: la correzione relativistica, l'effetto Zeeman, l'hamiltoniana di interazione spin-orbita, l'hamiltoniana di interazione magnetica iperfine. Teoria perturbativa dell'evoluzione temporale: probabilità di transizione e sopravvivenza. Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo: perturbazioni costanti e sinusoidali. Emissione e assorbimento di radiazione. Emissione spontanea. Coefficienti di Einstein. Metodi approssimati non perturbativi: il metodo variazionale, il metodo WKB (cenni), il metodo di Hartree, il metodo di Hartree-Fock (cenni). Teoria elementare dei processi d'urto: trattazione classica e quantistica, la sezione d'urto di scattering. Espansione in onde parziali; analisi degli sfasamenti; diagramma di Argand; il teorema ottico; l'approssimazione di Breit-Wigner; l'approssimazione di Born; funzioni di Green. Set tensoriali irriducibili: definizione ed esempi; il teorema di Wigner-Eckart; regole di selezione. Quantizzazione a path integral (cenni). Il teorema adiabatico. L'effetto Aharonov-Bohm.

Bibliografia

Si veda descrizione generale

Modalità di esame

Si veda descrizione generale

MECCANICA RAZIONALE E ANALITICA (MAT/07)

A. Marzuoli

Obiettivi formativi

Lo scopo del corso è trasmettere i concetti essenziali e rendere familiari gli strumenti matematici che stanno alla base della formulazione analitica (lagrangiana e hamiltoniana) della Meccanica Classica.

I contenuti di questo corso costituiscono prerequisiti necessari per affrontare il percorso successivo degli studi in Fisica, in particolare la meccanica quantistica e relativistica e le teorie di campo.

Le esercitazioni, e gli approfondimenti/complementi su specifici argomenti non trattati in insegnamenti previsti nel I anno, costituiscono parte integrante del corso. La frequenza, pur se non obbligatoria, è altamente raccomandata.

Prerequisiti

Gli strumenti matematici necessari sono quelli forniti nei corsi del I anno di Analisi Matematica e di Algebra Lineare. È inoltre richiesta una conoscenza approfondita della meccanica classica nella formulazione di Newton.

Programma

Richiami sui principi fondamentali della meccanica newtoniana. Formalismo lagrangiano: principio di D'Alembert; equazioni di Eulero-Lagrange dal principio variazionale di Hamilton. Leggi di conservazione e proprietà di simmetria (teorema di Noether). Applicazioni: moto in un campo centrale; il problema dei due corpi e le leggi di Keplero; cinematica e dinamica dei sistemi rigidi; sistemi di riferimento non inerziali e dinamica relativa; oscillatori e modi normali. Formalismo hamiltoniano: spazio delle fasi e trasformata di Legendre; principio di Hamilton modificato e deduzione delle equazioni di Hamilton; trasformazioni canoniche e loro caratterizzazione; parentesi di Poisson; flusso hamiltoniano e invarianza del volume nello spazio delle fasi (teorema di Liouville). Trasformazioni canoniche infinitesime e leggi di conservazione. Algebra dei momenti angolari e simmetria $SO(4)$ del problema di Keplero.

Complementi: calcolo tensoriale.

Bibliografia

H Goldstein, C Poole, J Safko "Meccanica Classica", Zanichelli (2005).

Per alcuni argomenti è fornito materiale di approfondimento disponibile c/o la Biblioteca di Fisica.

Modalità di esame

Una prova scritta e una prova orale.

Lo scritto è valutato con un giudizio (da insufficiente a ottimo) e l'accesso all'orale è consentito se viene raggiunta la sufficienza nello scritto.

Per gli studenti Erasmus le modalità d'esame potranno essere concordate diversamente su richiesta.

MECCANICA STATISTICA (FIS/02)

M. Guagnelli

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti fondamentali della meccanica statistica. Meccanica statistica classica (distribuzione di Maxwell-Boltzmann) e quantistica (distribuzioni di Bose-Einstein e di Fermi-Dirac).

Prerequisiti

Nozioni di fisica quantistica (livelli di una particella in una scatola)

Programma

Il corso prevede un'introduzione alla teoria degli ensembles, nell'ambito della meccanica statistica classica. La correzione di Gibbs al conteggio dei microstati verrà in seguito analizzata alla luce della natura quantistica dei componenti elementari del macrosistema. Verranno studiati alcuni sistemi fisici d'esempio che non potrebbero essere compresi senza l'introduzione della statistica quantistica (radiazione di corpo nero, calore specifico dei solidi, gas degeneri di Fermi). Ci sarà inoltre un'introduzione alla teoria delle transizioni di fase continue (modello di Ising).

Bibliografia

R.K. Pathria, P.D. Beale, Statistical Mechanics (third edition).

Dispense fornite dal docente (download via web)

Modalità di esame

Esame orale. Per la prova di esame si raccomanda di focalizzarsi sugli aspetti fisici degli argomenti trattati (andamenti qualitativi, grafici, metodi per misurare le varie proprietà...) piuttosto che sullo studio dettagliato delle derivazioni matematiche.

METODI INFORMATICI DELLA FISICA (FIS/01)

A. Negri

Obiettivi formativi

Il corso fornisce un'introduzione all'informatica di base ed è finalizzato alle applicazioni tipiche della fisica. Le lezioni, più che essere focalizzate su un determinato linguaggio di programmazione, sono caratterizzate da un approccio pragmatico all'informatica mirato all'insegnamento delle metodologie di apprendimento, alle tecniche di simulazione ed analisi di dati e alle procedure di debugging.

Programma

Nella prima parte del corso sono illustrati i principi di funzionamento dei calcolatori, delle loro componenti principali e dei sistemi operativi. In particolare una certa attenzione è dedicata all'introduzione del sistema operativo Linux, ampiamente diffuso in ambito di ricerca, ai comandi unix e agli script di shell utilizzati per l'automatizzazione delle procedure. Sono quindi presentati i concetti base dei linguaggi di programmazione procedurali e di quelli orientati agli oggetti. Come esempio di linguaggio correntemente usato in ambiente di ricerca fisica, viene fornita un'introduzione al linguaggio C++. Ampio spazio è dedicato ad esercitazioni in aula informatica, dove, per esempio, gli studenti sviluppano in C++ la simulazione di un problema tipico di fisica classica utilizzando anche un programma di analisi dati sviluppato al CERN (Root).

Bibliografia

Dispense e slides del docente

Un qualsiasi manuale introduttivo al C++, es: <http://www.learncpp.com/>.

“Programmazione Scientifica”, Barone et al.; Pearson Education.

“Metodi informatici della fisica”, Adele Rimoldi; Pavia University Press.

Modalità di esame

Prova pratica al calcolatore.

METODI MATEMATICI DELLA FISICA I (FIS/02)

B. Pasquini

Obiettivi formativi

Elementi di teoria degli spazi di Hilbert di dimensione infinita;

Elementi di teoria delle funzioni analitiche.

Prerequisiti

Corsi di Algebra e Analisi del biennio.

Programma

1) Spazi normati e spazi di Banach - Convergenza forte in uno spazio normato - Spazi prehilbertiani e hilbertiani - Sistemi ortonormali e sistemi ortonormali completi - Disuguaglianze di Schwarz e di Bessel - Serie generalizzata di Fourier e identità di Parseval - Costruzione di Gram-Schmidt - Isomorfismo tra spazi di Hilbert - Varietà lineari e sottospazi di uno spazio di Hilbert - Teorema di proiezione - Operatori e funzionali lineari in uno spazio di Hilbert - Teorema di Riesz-Fréchet - Convergenza debole e completezza debole di uno spazio di Hilbert.

2) Definizione e proprietà fondamentali di una funzione analitica - Integrali curvilinei in capo complesso e teoremi di Cauchy - Formula integrale di Cauchy e infinita derivabilità delle funzioni analitiche - Serie di Taylor e di Laurent - Punti singolari isolati al finito e all'infinito - Teorema dei Residui - Prolungamento analitico secondo Weierstrass e prolungamento analitico lungo una curva - Funzioni polidrome e separazione dei rami analitici - Applicazione del teorema dei Residui al calcolo di integrali generalizzati.

Bibliografia

dispense del docente e bibliografia allegata.

Modalità di esame

Una prova scritta e una prova orale. L'accesso all'orale è consentito se viene raggiunta la sufficienza nello scritto.

METODI MATEMATICI DELLA FISICA II (FIS/02)

C. Dappiaggi

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti basilari della teoria degli operatori lineari su spazi di Hilbert e della teoria delle distribuzioni.

Prerequisiti

È richiesta la conoscenza degli strumenti matematici appresi durante i corsi dei primi due anni della laurea triennale.

Programma

Nella prima parte del corso sarà presentata la teoria degli operatori lineari su spazi di Hilbert. Per quanto concerne gli operatori limitati particolare attenzione verrà rivolta agli operatori compatti, di Hilbert-Schmidt e di classe traccia. Nel caso generale invece particolare enfasi verrà data allo studio degli operatori autoaggiunti ed essenzialmente autoaggiunti, nonché alle loro applicazioni fisiche. Infine verranno spiegati i rudimenti della teoria spettrale. Nella seconda parte del corso, lo studente acquisirà familiarità con la teoria delle distribuzioni, incluse quelle temperate ed a supporto compatto. Verranno sviluppate sia le principali operazioni fra distribuzioni sia le applicazioni, in particolare la trasformata di Fourier e la convoluzione. Qualora rimanesse tempo, saranno delineati applicazioni più recenti quali il wvrefront set.

Bibliografia

Si suggeriscono i seguenti due testi

V. Moretti, "Teoria Spettrale e Meccanica Quantistica" (2010) Springer.

G. Friedlander & S. Joshi, "Introduction to the Theory of Distributions", 2nd ed. (1999) Cambridge University Press.

Modalità d'esame

Prova scritta ed orale.

OTTICA (FIS/01)

M. Geddo

Obiettivi formativi e risultati di apprendimento

Riprendere e approfondire alcuni degli aspetti salienti dell'ottica moderna con particolare riferimento a recenti applicazioni nella ricerca e nell'industria. Ciò permetterà di prendere confidenza con le potenzialità offerte dalle diverse tecniche di indagine ottica.

Prerequisiti

Le nozioni fondamentali sulle onde elettromagnetiche e l'interazione radiazione-materia, come vengono fornite dai corsi di Elettromagnetismo I ed Elettromagnetismo II del corso di laurea triennale in Fisica.

Programma

Il programma consta di una parte sviluppata in aula e una parte svolta in laboratorio e riguarda i seguenti argomenti: natura e propagazione della luce, l'approccio elettromagnetico, i coefficienti di Fresnel; sorgenti di luce e rivelatori; luce laser; luce coerente; fenomeni di polarizzazione, interferenza e diffrazione e loro utilizzo nella strumentazione scientifica; approfondimento di alcuni aspetti relativi a ottica di Fourier, ologrammi, luce e fotoni, fibre ottiche/guide d'onda per telecomunicazioni, ottica oltre il limite della diffrazione.

L'attività di laboratorio verrà dedicata alla realizzazione di semplici esperimenti con luce laser per evidenziare il ruolo dei diversi componenti ottici, come pure ad illustrare alcune importanti ricadute applicative nell'ambito della ricerca e dell'industria con particolare riferimento alla analisi non invasiva e alla diagnostica dei materiali.

Metodi didattici: lezioni frontali, esercitazioni in aula ed esperienze di laboratorio congiuntamente orientate sia ad approfondire la conoscenza dei fenomeni luminosi, come pure ad acquisire progressiva consapevolezza dei vantaggi offerti dalle tecniche ottiche per investigare i fenomeni naturali nell'ambito di discipline anche molto diverse.

Bibliografia

E. Hecht, Optics.

Modalità di esame

Esame orale. Per la prova di esame si raccomanda di focalizzarsi sugli aspetti fisici degli argomenti trattati (andamenti qualitativi, grafici, metodi per misurare le varie proprietà ottiche, peculiarità delle tecniche di indagine ottica) piuttosto che sullo studio dettagliato delle derivazioni matematiche e di dedicare particolare attenzione alle ricadute applicative di quei fenomeni dell'ottica moderna che recentemente hanno richiamato un crescente interesse della comunità scientifica internazionale.

PREPARAZIONE DI ESPERIENZE DIDATTICHE (FIS/08)

L. Falomo

Obiettivi formativi

Il corso si propone di introdurre gli studenti all'utilizzo del laboratorio nell'insegnamento/apprendimento della fisica, fornendo esempi di approcci, metodologie didattiche e strumenti innovativi.

Prerequisiti

Conoscenze di base di meccanica, termodinamica ed elettromagnetismo, come vengono fornite dai corsi della laurea triennale in Fisica e in Matematica

Programma

Partendo dai risultati della ricerca in didattica della fisica, gli studenti sono guidati nella progettazione e realizzazione di esperienze di laboratorio a livello di scuola secondaria. Viene proposto l'uso di strumenti didattici innovativi che permettono di coinvolgere gli studenti nell'approfondimento di concetti base di fisica partendo da attività di tipo sperimentale. Esempi significativi di tali strumenti sono i dispositivi MBL (Microcomputer-Based Laboratory), software per l'analisi di video come Tracker, programmi di simulazione e modellizzazione come Algodoo. Vengono analizzate proposte di lavoro elaborate da gruppi di ricerca in didattica e storia della fisica tenendo conto dei risultati di studi sulle rappresentazioni mentali spontanee e sui nodi concettuali documentati in letteratura. Le esperienze proposte riguardano temi di meccanica, termodinamica, elettromagnetismo e l'introduzione alla fisica quantistica e alcune di esse prevedono la ricostruzione di esperienze storiche significative.

Bibliografia

Arnold B. Arons, "A Guide to Introductory Physics Teaching", John Wiley & Sons, 1990. Traduzione italiana "Guida all'insegnamento della fisica, Zanichelli, 1992.

Olivier Darrigol, Electrodynamics from Ampere to Einstein, Oxford University Press, 2002.

Laurence Viennot, "Teaching Physics", Kluwer Academic Publishers, 2003.

Ugo Besson, Didattica della fisica, Carocci editore, Roma, 2015.

Modalità di esame

Esame orale. A partire da una discussione delle relazioni e delle mappe concettuali prodotte dagli studenti sulle attività svolte durante il corso, si valutano le conoscenze disciplinari acquisite e la capacità di utilizzarle nella realizzazione di esperienze rivolte a studenti di scuola secondaria.

STORIA DELLA FISICA (FIS/08)

L. Fregonese

Obiettivi formativi

Conoscenza di grandi episodi della storia della fisica, finalizzata anche al recupero critico di nozioni centrali della disciplina e ad una loro migliore trasmissione didattica.

Prerequisiti

Il corso sviluppa contestualmente le nozioni necessarie per la comprensione degli argomenti trattati.

Programma

Il corso presenta le grandi linee di sviluppo della fisica nel periodo che va da Galileo alle soglie dei grandi cambiamenti che Einstein introdusse nella disciplina con i suoi famosi articoli del 1905

(relatività speciale, moto browniano, quanto di luce).

L'opera di Galileo e altri importanti sviluppi seicenteschi vengono contestualizzati in quella fondamentale tappa della scienza occidentale che viene denominata "rivoluzione scientifica" e che si caratterizza complessivamente per l'abbandono in fisica delle "qualità" aristoteliche a favore di nuovi schemi esplicativi, quali le leggi quantitative astratte, il corpuscolarismo, l'interpretazione meccanicistica dei processi naturali e l'impiego di "forze" variamente concepite. Le posizioni assunte su queste fondamentali questioni da Cartesio, Newton e Leibniz vengono esaminate specificamente. Il corso procede illustrando la strutturazione della fisica nel corso del Settecento e Ottocento in tre grandi aree - meccanica, termodinamica, elettromagnetismo - insieme al prevalere di approcci riduzionisti che, ricollegandosi agli schemi esplicativi emersi durante la rivoluzione scientifica, si proponevano di fondare l'intera disciplina su basi meccaniche. Il corso si sofferma in particolare sull'interpretazione cinetico-molecolare del calore e sui tentativi infruttuosi di estendere l'equipartizione dell'energia all'elusivo fenomeno del moto browniano. L'incapacità della fisica di spiegare in questa fase il moto browniano portò a una situazione di crisi tale da mettere in forse l'interpretazione cinetica del calore e l'ipotesi di una costituzione atomico-molecolare effettiva della materia, conducendo tra le altre cose al riemergere di forme di vitalismo. Il corso prosegue illustrando come, passando attraverso i risultati di van 't Hoff sulla pressione osmotica e la successiva reinterpretazione del moto browniano ad opera di Einstein, la spiegazione cinetico-molecolare del calore e la costituzione particellare effettiva della materia furono finalmente stabilite, ma ormai alle soglie di un riorientamento della fisica lungo linee di sviluppo non classiche.

Bibliografia

Slides delle lezioni in formato digitale.

Roberto Maiocchi, Storia della scienza in Occidente, La Nuova Italia, 2000, parti scelte.

Storia della scienza, Enciclopedia Treccani, 2001-2003, articoli scelti.

Modalità di esame

Esame orale.

STRUTTURA DELLA MATERIA (FIS/03)

P. Carretta, G. Prando

Obiettivi formativi

Applicare nozioni fondamentali della meccanica quantistica per valutare la struttura elettronica di atomi, molecole e solidi, i moti degli atomi in molecole e solidi, le proprietà termodinamiche della materia, le funzioni di risposta di questi sistemi a campi magnetici ed elettrici e le principali spettroscopie utilizzate per sondare le proprietà di atomi, molecole e solidi.

Prerequisiti

Aspetti fondamentali di meccanica, termodinamica, elettromagnetismo e meccanica quantistica. È utile conoscere gli aspetti di base della meccanica statistica.

Programma

Vengono richiamati gli aspetti generali di atomi idrogenoidi e descritti i principi di spettroscopia dei livelli elettronici negli atomi. Successivamente vengono trattati gli atomi a più elettroni e illustrate le varie interazioni (spin-orbita, scambio, orbita-orbita, iperfine) che determinano la struttura dei livelli elettronici. Vengono descritti quindi gli stati elettronici e la formazione delle molecole, sia facendo riferimento a molecole biatomiche sia a molecole poliatomiche. Sono illustrate le proprietà delle molecole associate ai moti nucleari di rotazione e vibrazione e le spettroscopie utilizzate per il loro studio. Successivamente vengono descritte le proprietà principali dei solidi cristallini: le strutture reticolari, gli stati elettronici nei cristalli e la loro descrizione nell'ambito di diversi modelli, la formazione dei cristalli, la conduttività elettrica, i modi vibrazionali nei cristalli. Nell'arco del corso vengono richiamati in più occasioni concetti di meccanica statistica utili alla comprensione degli argomenti trattati. Viene data particolare enfasi all'effetto di campi elettrici e magnetici sulla struttura dei livelli di atomi, molecole e solidi e alla descrizione delle rispettive funzioni di risposta e delle spettroscopie impiegate per il loro studio.

Bibliografia

A. Rigamonti, P. Carretta, Structure of Matter: an Introductory Course with Problems and Solutions, Springer Italia, 2009 (terza edizione).

Modalità di esame

Esame scritto e orale. Durante il corso si svolgeranno delle prove scritte in itinere sulle parti riguardanti atomi, molecole e solidi. Per accedere all'esame orale lo studente dovrà superare l'esame scritto finale oppure le tre prove scritte in itinere. Per l'esame orale si raccomanda di concentrarsi sugli aspetti comuni alle trattazioni fatte per gli atomi, le molecole e i solidi. Ad esempio, saper trattare qual è l'effetto di campi elettrici statici sulle proprietà di atomi, molecole e solidi, oppure saper trattare gli effetti associate all'indistinguibilità per scambio di particelle in atomi, molecole e solidi, oppure descrivere le spettroscopie utilizzate per determinare le proprietà atomiche, molecolari e dei solidi.

TECNOLOGIE FISICHE E BENI CULTURALI (FIS/07)

P. Galinetto, M.C. Mozzati

Obiettivi formativi

L'insegnamento si propone di fornire agli studenti le conoscenze fondamentali relativamente ad alcune metodologie fisiche applicate ai beni culturali anche attraverso una attività di laboratorio finalizzata a enucleare gli aspetti critici per l'operatore scientifico in ambito beni culturali.

Prerequisiti

Conoscenza dell'elettromagnetismo e delle basi di fisica quantistica e nucleare.

Programma

Verrà trattata la spettroscopia Raman e micro-Raman e alcune applicazioni nell'ambito dei beni culturali. A partire da alcuni elementi di base sull'interazione radiazione materia verranno illustrate le basi teoriche della tecnica e verranno evidenziate alcune problematiche sperimentali relative al particolare utilizzo in ambito beni culturali. Verrà infine svolta una attività di laboratorio finalizzata a favorire un contatto diretto degli studenti con casi pratici, come, a titolo di esempio, misure su intonaci affrescati, su dipinti, su documenti stampati o scritti.

Sarà brevemente introdotta la tematica sul corretto campionamento dei reperti, una tecnica di determinazione cronologica e una di pura analisi chimica elementare: carbonio-14 e analisi per attivazione neutronica. La descrizione dell'analisi per attivazione neutronica potrà essere seguita da una dimostrazione in laboratorio che ne dimostri la capacità di identificare e determinare più elementi a livelli dei ppm (parte per milione) e inferiori.

Saranno trattati gli aspetti essenziali della teoria alla base della tecnica EPR (Electron Paramagnetic Resonance) e le possibilità di applicazione della tecnica nel campo dei beni culturali. Saranno realizzati esperimenti finalizzati all'apprendimento degli aspetti sperimentali di base della tecnica, con acquisizione di segnali da campioni standard e da diversi sistemi noti contenenti diversi ioni EPR attivi e con relativo trattamento del dato sperimentale. Saranno inoltre mostrati esempi di applicazione della tecnica per lo studio di materiali strettamente legati al campo dei beni culturali.

Saranno inoltre brevemente illustrati i principi fisici inerenti al paleomagnetismo e all'archeomagnetismo.

Bibliografia

Materiale didattico relativo alle tecniche trattate fornito durante le lezioni, accompagnato da estratti di lavori scientifici e di ricerca nell'ambito dei beni culturali.

Modalità di esame

La verifica dell'acquisizione dei risultati dell'apprendimento si concretizza in una prova orale che verte principalmente, ma non esclusivamente, su un argomento scelto dallo studente come tema da approfondire e concordato con il docente. La prova orale è preceduta dalla preparazione di una relazione scritta sul tema scelto.

LAUREA MAGISTRALE IN SCIENZE FISICHE

CORSO DI STUDI BIENNALE

Viene presentata l'organizzazione degli studi per la Laurea magistrale in Scienze Fisiche (Classe LM-17-Fisica) di durata biennale ai sensi del D.M. 270/2004.

Il regolamento didattico dettagliato del corso di laurea Magistrale in Scienze Fisiche è disponibile sul sito del Dipartimento di Fisica.

a) Obiettivi dell'organizzazione degli studi

Obiettivo principale della laurea magistrale in Scienze Fisiche è fornire una preparazione culturale e metodologica adatta all'attività di ricerca, all'immediato inserimento nel mondo del lavoro nei settori tradizionali dei laureati in fisica e all'insegnamento nelle scuole secondarie.

Essa ha, inoltre, come naturale sbocco il dottorato di ricerca in fisica e scuole di specializzazione postuniversitarie.

L'organizzazione didattica è predisposta in modo tale che l'impegno temporale per lo studio, il carico didattico delle singole attività formative e le modalità di espletamento delle prove d'esame consentano allo studente medio di conseguire la laurea con una solida preparazione nei due anni previsti dal curriculum degli studi.

b) Requisiti d'accesso

Per informazioni su:

- a) i requisiti di accesso alla Laurea magistrale in Scienze fisiche;
- b) l'indicazione degli studenti che possono procedere direttamente alla immatricolazione;
- c) l'indicazione degli studenti che devono sostenere la prova di ammissione;
- d) le modalità della prova di ammissione;
- e) le modalità della immatricolazione,

si invita a consultare l'**Avviso per l'ammissione** alla Laurea magistrale in Scienze fisiche, pubblicato sul sito dell'Università (<http://www.unipv.eu/site/home/naviga-per/studenti/immatricolarsi---frequentare---concludere/articolo4291.html>).

c) Crediti formativi universitari (CFU) e durata degli studi

Di norma 1 CFU (equivalente a 25 ore complessive di lavoro) è costituito dalle ore accademiche di lezione frontale e da altre ore necessarie per l'acquisizione dei contenuti e dei metodi impartiti nelle lezioni e per lo studio dei testi e dei materiali consigliati dal docente, nonché da altre eventuali ore per l'approfondimento di argomenti specifici. Lo studente acquisisce i crediti relativi con il superamento della prova d'esame.

Di norma, un curriculum di studi comporta l'acquisizione di 60 CFU per ogni anno di corso e la laurea magistrale è conseguita con l'acquisizione di 120 CFU.

d) Piani di studio

Lo studente segue normalmente un piano di studio conforme a uno dei piani di studio ufficiali esposti nel successivo punto j). I piani di studio conformi a un piano di studio ufficiale sono approvati senza bisogno di ulteriore esame da parte del Consiglio didattico. Lo studente può tuttavia presentare un **piano di studio individuale motivato** che dovrà essere espressamente approvato da parte del Consiglio didattico. Un piano di studio individuale può prevedere l'acquisizione di un numero di CFU maggiore di 120. La presentazione dei piani di studio individuali avviene secondo modalità stabilite dalla Segreteria studenti.

Per informazioni sulle modalità di compilazione e presentazione dei piani di studio consultare la pagina web <http://www.unipv.eu/site/home/area-stampa/articolo3448.html>.

Prima approvazione da parte del Consiglio didattico, gli studenti possono trascorrere periodi di studio o di apprendistato presso università italiane o straniere o presso istituzioni extrauniversitarie, con attribuzione di un numero di CFU da stabilire caso per caso, sulla base di un'adeguata documentazione.

Nell'ambito delle ipotesi previste dal Regolamento Didattico di Ateneo è consentito agli studenti di richiedere, al momento dell'immatricolazione, una modalità di iscrizione a tempo parziale

che estende il periodo di durata del corso di studio a quattro anni. Il piano di studi prevede orientativamente l'acquisizione di 24 CFU per anno, per i primi tre anni, e di 48 CFU al quarto anno attraverso lo svolgimento dell'attività di tesi, dell'internato di tesi e la prova finale. Lo studente può presentare un piano di studi conforme agli schemi illustrati al successivo punto i) per uno dei curricula previsti dall'ordinamento o in alternativa presentare un piano di studi individuale.

e) Progressione degli studi e propedeuticità degli insegnamenti

La frequenza alle lezioni è fortemente raccomandata al fine della proficua formazione dello studente e i singoli docenti adotteranno tutti gli strumenti utili per incentivarla. Essa è obbligatoria per gli insegnamenti o parte di insegnamenti per i quali il docente la ritenga necessaria in relazione a esercitazioni o attività di laboratorio. In tali casi il docente definisce le modalità della verifica.

Non sussistono propedeuticità tra gli esami degli insegnamenti previsti dal piano di studio.

f) Tipologia delle forme didattiche e verifica dell'apprendimento

La didattica è organizzata in moduli semestrali di 6 CFU. Le lezioni si svolgono in due periodi di circa 13-14 settimane utili ciascuno, convenzionalmente chiamati "semestri", e gli esami in due periodi, detti "sessioni", come indicato nella seguente tabella:

I semestre: 01/10/2018 – 18/01/2019 Lezioni
 21/01/2019 – 01/03/2019 Esami

II semestre: 04/03/2019 – 14/06/2019 Lezioni
 17/06/2019 – 30/09/2019 Esami

A scelta dei singoli docenti, la verifica dell'apprendimento è effettuata mediante una prova orale e/o una prova scritta o pratica o da più prove distribuite nel corso delle lezioni. Il livello dell'apprendimento è quantificato con un voto in trentesimi.

Il voto dell'esame non ha alcuna relazione con il numero di CFU associato all'insegnamento e il numero di CFU dell'insegnamento è acquisito se il voto è di sufficienza (cioè non inferiore a 18/30).

Per consultare il calendario degli appelli (Selezionare [688916] Dipartimento di Fisica) e le istruzioni relative all'iscrizione agli appelli tramite piattaforma ESSE3 collegarsi al sito internet <http://www.unipv.eu/site/home/naviga-per/studenti/immatricolarsi---frequente---concludere/articolo9118.html>.

g) Prova finale e voto di laurea

La prova finale è pubblica e consiste nella discussione davanti ad una commissione ufficiale di una dissertazione scritta, elaborata in modo personale dal laureando sotto la guida di un docente relatore. La dissertazione deve sviluppare tematiche specificamente attinenti agli obiettivi formativi del corso di studio nell'ambito del curriculum scelto dallo studente. Essa può consistere in una ricerca a carattere sperimentale o teorico, in un lavoro di rassegna o essere il risultato di un'attività di tirocinio svolta presso un ente o un'azienda pubblica o privata.

La commissione è invitata ad attribuire il voto di laurea secondo i seguenti criteri.

La media dei voti conseguiti dallo studente negli esami, ad esclusione di quelli in sovrannumero, espressa in centodecimi, moltiplicata per il fattore 100/110 e arrotondata all'intero più vicino, costituisce il punteggio base. Il punteggio base, incrementato di 2 punti se la laurea magistrale è conseguita entro il 31/12 del secondo anno di corso e di 1 punto se essa è conseguita entro il 31/10 del terzo anno di corso e ulteriormente incrementato fino a un massimo di 12 punti secondo il giudizio della commissione, costituisce il punteggio finale. Il voto finale in centodecimi è dato dal punteggio finale con massimo 110. La lode può essere attribuita con voto unanime della commissione se il punteggio base è pari ad almeno 98 e il punteggio finale, ulteriormente incrementato di 1 punto se lo studente ha conseguito negli esami almeno 4 lodi e di 2 punti se ha conseguito almeno 8 lodi, è pari ad almeno 113.

A partire dalla coorte 2016/17 vengono adottati i seguenti nuovi criteri:

La prova finale è pubblica e consiste nella discussione davanti ad una commissione ufficiale di una dissertazione scritta, elaborata in modo personale dal laureando sotto la guida di un docente relatore.

Il relatore non fa parte della commissione, ma è invitato a partecipare in qualità di membro esterno per la sola presentazione e discussione riguardante il proprio candidato.

La dissertazione deve sviluppare tematiche specificamente attinenti agli obiettivi formativi del corso di studio nell'ambito del curriculum scelto dallo studente. Essa può consistere in una ricerca a carattere sperimentale o teorico, in un lavoro di rassegna o essere il risultato di una attività di tirocinio svolta presso un ente o un'azienda pubblica o privata. Copia della tesi va inviata in forma elettronica (formato PDF) ai membri della commissione di laurea al più tardi in concomitanza con la consegna della stessa alla segreteria studenti.

La commissione, sentito il parere del relatore di tesi e dopo discussione collegiale, attribuisce il voto di laurea secondo i seguenti criteri:

1) La media dei voti conseguiti dallo studente negli esami, ad esclusione di quelli in sovrannumero, espressa in centesimi e arrotondata all'intero più vicino, costituisce il punteggio base;

2) Il punteggio base è incrementato:

a) di 1 punto in presenza di almeno 4 lodi negli esami di merito;

b) di 3 punti se la laurea magistrale è conseguita entro il 31 ottobre del secondo anno di corso,
di 2 punti se è conseguita entro il 31 gennaio dell'anno successivo,

di 1 punto se essa è conseguita entro il 30 aprile dell'anno successivo.

Per gli studenti che hanno seguito il percorso LM Plus e hanno superato tutti gli esami entro il 30 settembre del secondo anno di corso, le date indicate al punto 2b) vengono posticipate di x mesi se lo studente ha svolto un tirocinio della durata di 6+x mesi.

3) Il punteggio è ulteriormente incrementato fino a un massimo di 12 punti attribuiti con voto di ciascun membro della commissione mediante scheda predisposta. La votazione si svolge in assenza del relatore.

I punti attribuibili sono così ripartiti:

a) fino a 6 punti per il lavoro di tesi del candidato come illustrato dal relatore di tesi;

b) fino a 3 punti per l'originalità, la chiarezza dei contenuti e l'accuratezza della tesi;

c) fino a 3 punti per la presentazione e la discussione della tesi.

La media dei voti dei commissari viene arrotondata all'intero più vicino.

Il punteggio finale, ottenuto dalla somma dei punteggi precedentemente descritti, costituisce il voto finale in centodecimi con voto massimo pari a 110.

La lode può essere attribuita con voto palese e unanime della commissione:

a) se il punteggio finale è almeno pari a 110/110;

b) se lo studente ha conseguito negli esami almeno 3 lodi.

h) Curricula degli studi

I curricula previsti sono i seguenti:

1) **Fisica della materia** (caratterizzato da una formazione prevalente nel settore scientifico-disciplinare FIS/03);

2) **Fisica nucleare e subnucleare** (caratterizzato da una formazione prevalente nel settore scientifico-disciplinare FIS/04);

3) **Fisica teorica** (caratterizzato da una formazione prevalente nel settore scientifico-disciplinare FIS/02);

4) **Fisica Biosanitaria** (caratterizzato da una formazione prevalente nei settori scientifico-disciplinari FIS/04, FIS/01, FIS/07);

5) **Didattica e storia della fisica** (caratterizzato da una formazione prevalente nel settore scientifico-disciplinare FIS/08).

I settori scientifico-disciplinari citati qui sopra e nel seguito sono:

FIS/01 Fisica sperimentale

FIS/02 Fisica teorica, modelli e metodi matematici

FIS/03 Fisica della materia

FIS/04 Fisica nucleare e subnucleare

FIS/05 Astronomia e Astrofisica

FIS/06 Fisica per il sistema terra e il mezzo circumterrestre

FIS/07 Fisica applicata (a beni culturali, ambientali, biologia e medicina)
FIS/08 Didattica e storia della fisica

i) Percorso LM Plus

Dall'a.a. 2017/18 è ammessa l'iscrizione al percorso LM+ (Laurea Magistrale Plus), nell'ambito di un progetto di collaborazione con una rete di enti/impres partner disciplinato da apposita Convenzione.

LM+ prevede per lo studente la possibilità di svolgere, a partire dal secondo anno, due semestri di formazione presso enti/impres convenzionate come parte integrante del suo percorso formativo e finalizzati ad acquisire predefinite e coerenti competenze professionali. Gli enti/impres convenzionate e i programmi formativi saranno comunicati nel corso dell'anno e verranno organizzati incontri per permettere agli studenti interessati di conoscere le informazioni in dettaglio. Gli studenti che intenderanno candidarsi all'iscrizione al percorso LM+, sulla base della numerosità dei progetti formativi messi a disposizione nell'ambito di un avviso di selezione annuale, verranno selezionati in un numero che sarà definito in base alle opportunità offerte dalle aziende. La selezione verterà sui risultati ottenuti dal candidato a livello curriculare, integrati dagli esiti di un colloquio individuale. Nell'ambito della Laurea Magistrale Plus, lo studente potrà estendere la durata normale del suo percorso formativo fino a 3 anni accademici di cui 2 semestri come periodo formativo in azienda.

Nello svolgimento della propria attività presso l'ente/impresa ospitante, lo studente sarà seguito da un tutor aziendale e da un tutor universitario, che interagiranno costantemente per monitorare il progressivo raggiungimento degli obiettivi definiti nel progetto formativo. Saranno previsti due momenti di valutazione del percorso: uno intermedio e uno finale. Durante il periodo in azienda, lo studente potrà contare su un rimborso spese. Lo studente iscritto in modalità LM+ otterrà il riconoscimento di crediti formativi universitari maturati nel corso dell'esperienza svolta presso l'ente/impresa ospitante per l'attività di tesi relativa alla prova finale (fino a 42 CFU), nell'ambito delle altre attività (fino a 6 CFU), nonché eventualmente come CFU soprannumerari.

j) Piani di studio ufficiali

I piani di studio ufficiali dei diversi curricula descritti nel seguito si intendono riferiti a uno studente che abbia conseguito la laurea in Fisica presso l'Università di Pavia seguendo un piano di studio conforme al piano ufficiale. In tutti gli altri casi il piano di studio dovrà essere espressamente approvato dal Consiglio didattico tenendo conto delle eventuali lacune presenti nella precedente formazione.

La laurea magistrale in Scienze fisiche si ottiene conseguendo 120 CFU così ripartiti:

72 CFU da acquisire nel corso della laurea magistrale con gli insegnamenti specificati nel seguito per i diversi curricula;

48 CFU da acquisire con la prova finale della laurea magistrale.

Le scelte operate dallo studente nell'ambito del corso di laurea in Fisica non possono essere ripetute nell'ambito del corso di laurea magistrale in Scienze fisiche. Tali scelte sono comunque valide per soddisfare alcuni vincoli previsti dai piani di studio dei diversi curricula della laurea magistrale.

La dissertazione scritta (tesi) per la prova finale deve essere di argomento omogeneo al curriculum scelto.

I piani di studio dei diversi curricula esposti nel seguito non sono organizzati per anno di corso. Lo studente può scegliere liberamente in quale anno inserire gli insegnamenti. Il rispetto di eventuali propedeuticità è affidato al discernimento dello studente guidato dai consigli dei docenti. I 48 CFU previsti per la prova finale sono divisi convenzionalmente in 36 CFU attribuiti al lavoro di preparazione della tesi, 6 CFU certificati dal relatore e consistenti nell'acquisizione di competenze informatiche e telematiche e di abilità relazionali, nonché attività volte ad agevolare le scelte professionali, e 6 CFU attribuiti alla prova finale vera e propria. Il lavoro di preparazione della tesi può essere suddiviso tra i due anni di corso a scelta dello studente con il solo vincolo che il lavoro da svolgere il primo anno non superi quello da svolgere il secondo. In termini di CFU sono possibili per il lavoro di preparazione della tesi le seguenti scelte: 0 (1° anno) - 36 (2° anno), 6 - 30, 12 - 24, 18 - 18. Corrispondentemente i CFU relativi agli insegnamenti da inserire nel piano saranno 60 (1° anno) - 12 (2° anno), 54 - 18, 48 - 24, 42 - 30.

**Insegnamenti che caratterizzano il
CURRICULUM DI FISICA DELLA MATERIA (72 CFU)**

36 CFU acquisibili con i seguenti insegnamenti obbligatori:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Meccanica statistica	FIS/02	6	II	T
Complementi di struttura della materia	FIS/03	6	I	M
Fisica dello stato solido I	FIS/03	6	I	M
Fisica dello stato solido II	FIS/03	6	II	M
Laboratorio di strumentazioni fisiche	FIS/01	6	II	M
Laboratorio di fisica quantistica I	FIS/01	6	I	M

Gli studenti che hanno sostenuto, nella laurea in Fisica, l'esame di Meccanica statistica, devono sostituire l'insegnamento di Meccanica statistica con un insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Complementi di fisica teorica	FIS/02	6	I	M
Complementi di meccanica statistica	FIS/02	6	I	M
Elettrodinamica quantistica	FIS/02	6	I	M
Metodi matematici della fisica teorica	FIS/02	6	II	M

12 CFU acquisibili con 2 insegnamenti scelti dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Fisica dei dispositivi elettronici a stato solido	FIS/03	6	I	M
Fisica quantistica della computazione	FIS/03	6	II	M
Fotonica	FIS/03	6	I	M
Nanostrutture di semiconduttori	FIS/03	6	II	M
Ottica quantistica	FIS/03	6	I	M
Spettroscopia dello stato solido	FIS/03	6	I	M
Teoria fisica dell'informazione	FIS/03	6	I	M

12 CFU acquisibili con 2 insegnamenti nei settori BIO/06, CHIM/02,03, FIS/05, INF/01, MAT/05,06,07, ING- IND/09,22, ING-INF/01,02,05, MED/36.

12 CFU acquisibili con 2 insegnamenti a scelta libera.

**Insegnamenti che caratterizzano il
CURRICULUM DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE (72 CFU)**

12 CFU acquisibili con i seguenti insegnamenti obbligatori:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Laboratorio di fisica nucleare e subnucleare I	FIS/04	6	II	M
Rivelatori di particelle	FIS/01	6	II	M

6 CFU acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Elettrodinamica e relatività	FIS/02	6	I	T
Complementi di fisica teorica	FIS/02	6	I	M
Elettrodinamica quantistica	FIS/02	6	I	M
Metodi matematici della fisica teorica	FIS/02	6	II	M
Metodi Computazionali della Fisica	FIS/02	6	II	M
Teoria delle interazioni fondamentali	FIS/02	6	I	M
Teoria quantistica dei campi	FIS/02	6	II	M

24 CFU acquisibili con 4 insegnamenti scelti dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Fisica delle particelle elementari I	FIS/04	6	I	M
Fisica nucleare I	FIS/04	6	II	M
Fisica nucleare II	FIS/04	6	I	M
Laboratorio di fisica nucleare subnucleare II	FIS/04	6	I	M
Radioattività I	FIS/04	6	I	M
Acceleratori e reattori nucleari	FIS/04	6	I	M
Radioattività II	FIS/04	6	II	M

6 CFU acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Tecnologie fisiche e beni culturali	FIS/07	6	II	T
Procedimenti informatici di simulazione	FIS/01	6	I	M
Metodi statistici della fisica	FIS/01	6	I	M

12 CFU acquisibili con 2 insegnamenti nei settori FIS/05, MAT/05, MAT/06, MAT/07, MAT/08, ING-INF/01, ING-INF/07, MED/36

12 CFU acquisibili mediante insegnamenti a scelta libera.

Insegnamenti che caratterizzano il CURRICULUM DI FISICA TEORICA (72 CFU)

30 CFU acquisibili con 5 insegnamenti scelti dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Elettrodinamica e relatività	FIS/02	6	I	T
Meccanica statistica	FIS/02	6	II	T
Complementi di fisica teorica	FIS/02	6	I	M
Elettrodinamica quantistica	FIS/02	6	I	M
Complementi di meccanica statistica	FIS/02	6	I	M
Teoria delle interazioni fondamentali	FIS/02	6	I	M
Econofisica	FIS/02	6	I	M
Fondamenti della meccanica quantistica	FIS/02	6	I	M
Gruppi e simmetrie fisiche	FIS/02	6	II	M
Metodi matematici della fisica teorica	FIS/02	6	II	M
Metodi computazionali della fisica	FIS/02	6	II	M
Relatività generale	FIS/02	6	II	M
Teoria quantistica dei campi	FIS/02	6	II	M

Gli studenti che hanno sostenuto nella laurea in Fisica gli esami di Elettrodinamica e relatività e/o di Meccanica statistica devono sostituirli scegliendo fra altri insegnamenti dell'elenco.

6 CFU acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Laboratorio di fisica quantistica I	FIS/01	6	I	M
Metodi statistici della fisica	FIS/01	6	I	M
Procedimenti informatici di simulazione	FIS/01	6	II	M
Rivelatori di particelle	FIS/01	6	II	M

12 CFU acquisibili con 2 insegnamenti scelti dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Complementi di struttura della materia	FIS/03	6	I	M
Fisica delle particelle elementari I	FIS/04	6	I	M

Fisica dello stato solido I	FIS/03	6	I	M
Fisica nucleare I	FIS/04	6	II	M
Fotonica	FIS/03	6	I	M
Ottica quantistica	FIS/03	6	I	M
Fisica dello stato solido II	FIS/03	6	II	M
Fisica nucleare II	FIS/04	6	I	M
Fisica quantistica della computazione	FIS/03	6	II	M
Nanostrutture di semiconduttori	FIS/03	6	II	M
Teoria fisica dell'informazione	FIS/03	6	I	M

12 CFU acquisibili con 2 insegnamenti scelti dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Equazioni differenziali e sistemi dinamici	MAT/05	6	I	T
Introduzione all'astronomia	FIS/05	6	I	T
Analisi funzionale	MAT/05	9	I	M
Equazioni della fisica matematica	MAT/07	6	II	M
Astrofisica	FIS/05	6	II	M
Astronomia	FIS/05	6	I	M
Fenomeni di diffusione e trasporto	MAT/07	9	II	M
Astroparticelle	FIS/05	6	II	M
Algebra superiore	MAT/02	6	I	M
Teoria dei sistemi dinamici	MAT/07	6	II	M

12 CFU acquisibili con 2 insegnamenti a scelta libera.

Insegnamenti che caratterizzano il

CURRICULUM DI FISICA BIOSANITARIA (72 CFU)

48 CFU acquisibili con i seguenti insegnamenti obbligatori:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Fisica delle radiazioni ionizzanti	FIS/04	6	I	T
Biologia generale, anatomia e fisiologia umana	BIO/06	6	I	M
Tecniche diagnostiche II	FIS/07	6	I	M
Tecniche diagnostiche I	FIS/07	6	II	M
Elementi di radioprotezione	FIS/07	6	II	M
Radiobiologia	MED/36	6	II	M
Strumentazione fisica biosanitaria	FIS/07	6	I	M
Laboratorio di radiazioni ionizzanti	FIS/04	6	II	M

Qualora l'insegnamento di Fisica delle radiazioni ionizzanti sia già stato sostenuto nella laurea in Fisica deve essere sostituito con un altro insegnamento dei SSD FIS/03 o FIS/04.

6 CFU acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Metodi statistici della fisica	FIS/01	6	I	M
Procedimenti informatici di simulazione	FIS/01	6	I	M
Rivelatori di particelle	FIS/01	6	II	M
Simulazione in campo biosanitario	FIS/07	6	I	M

6 CFU acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Elettrodinamica e relatività	FIS/02	6	I	T
Meccanica statistica	FIS/02	6	II	T
Complementi di Fisica di Base	FIS/08	6	II	T

Complementi di meccanica statistica	FIS/02	6	I	M
Metodi Computazionali della Fisica	FIS/02	6	II	M

12 CFU acquisibili con 2 insegnamenti a scelta libera.

Insegnamenti che caratterizzano il

CURRICULUM DI DIDATTICA E STORIA DELLA FISICA (72 CFU)

36 CFU acquisibili con 6 insegnamenti scelti dal seguente elenco, di cui al più uno appartenente al settore FIS/02:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Elettrodinamica e relatività	FIS/02	6	I	T
Storia della fisica	FIS/08	6	I	T
Preparazione di esperienze didattiche	FIS/08	6	I	T
Complementi di fisica di base	FIS/08	6	II	T
Meccanica statistica	FIS/02	6	II	T
Complementi di fisica teorica	FIS/02	6	I	M
Didattica della fisica	FIS/08	6	II	M
Tecnologie della comunicazione scientifica	FIS/08	6	I	M
Fondamenti della fisica	FIS/08	6	I	M
Relatività generale	FIS/02	6	II	M

6 CFU acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Laboratorio di fisica quantistica I	FIS/01	6	I	M
Laboratorio di strumentazioni fisiche	FIS/01	6	II	M
Ottica	FIS/01	6	II	T

6 CFU acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Introduzione alla fisica dei solidi	FIS/03	6	II	T
Complementi di struttura della materia	FIS/03	6	I	M
Fisica dello stato solido I	FIS/03	6	I	M
Fisica nucleare I	FIS/04	6	II	M
Radioattività I	FIS/04	6	I	M
Teoria fisica dell'informazione	FIS/03	6	I	M

12 CFU acquisibili con 2 insegnamenti scelti dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea ⁽¹⁾
Equazioni differenziali e sistemi dinamici	MAT/05	6	I	T
Introduzione all'astronomia	FIS/05	6	I	T
Matematiche complementari	MAT/04	6	I	M
Storia della matematica	MAT/04	6	II	M
Storia delle scienze	M-STO/05	6	I	M
Astrofisica	FIS/05	6	II	M
Astronomia	FIS/05	6	I	M
Astroparticelle	FIS/05	6	II	M
Didattiche specifiche della matematica	MAT/04	9	II	M
Didattica della matematica	MAT/04	9	I	M

12 CFU acquisibili con 2 insegnamenti a scelta libera.

(1) T = insegnamenti già offerti nella Laurea Triennale; M = Laurea magistrale.

Corsi attivati presso i Collegi

All'attività didattica svolta presso il Dipartimento di Fisica si aggiungono i seguenti corsi tenuti presso i collegi storici pavesi, che possono essere inseriti nel piano di studi come insegnamenti a scelta.

- Dynamic programming, optimal control and applications (MAT/03, 3 CFU, Collegio Borromeo).
- Teoria dei giochi (MAT/05, 3 CFU, Collegio Borromeo).
- Neuroscienze (BIO/09, 3 CFU, Collegio Borromeo).
- Etica ambientale (SECS-P/13, 3 CFU, Collegio Borromeo).
- Progresso umano e sviluppo sostenibile (SECS-P/01, 3 CFU, Collegio S. Caterina).
- Introduzione alla Teoria dei Processi Stocastici (MAT/06, 3 CFU, Collegio Ghislieri).
- Istituzioni di logica (M-FIL/02, 6 CFU, Collegio Ghislieri).

Per informazioni sui corsi ci si può rivolgere ai rispettivi Collegi.

- Collegio Ghislieri, <http://www.ghislieri.it/>
- Collegio Borromeo, <http://www.collegioborromeo.it/>
- Collegio Santa Caterina da Siena, <http://santacaterina.unipv.it/>

Agli studenti interessati all'insegnamento nella Scuola Secondaria di primo e di secondo grado si ricorda che il Decreto del Presidente della Repubblica 14 febbraio 2016, n. 19 stabilisce i titoli di accesso necessari per accedere ai percorsi di Abilitazione nelle varie classi di insegnamento. Secondo tale decreto, la laurea Magistrale in Scienze Fisiche (LM 17) è titolo di accesso alla classe di abilitazione A-20 FISICA (ex 38/A) e alla Classe di Abilitazione A-27 MATEMATICA E FISICA (ex 49/A). Sono richiesti invece titoli specifici per l'accesso alla classe A-28 MATEMATICA E SCIENZE (ex 59/A Scienze matematiche, Chimiche, Fisiche e Naturali nella scuola media) e per la Classe A-26 MATEMATICA (ex 47/A). In particolare:

- per la classe A-28 MATEMATICA E SCIENZE la Laurea Magistrale in Scienze Fisiche conseguita dall'a.a. 2019/2020, è titolo di accesso purché il piano di studi, fra laurea triennale e laurea magistrale, abbia previsto almeno 132 crediti nei settori scientifico disciplinari MAT, FIS, CHIM, GEO, BIO, INF/01, INF-ING/05, di cui almeno 30 in MAT, 12 in FIS, 6 in CHIM, 6 in GEO, 6 in BIO, 6 in INF/01 o in ING-INF/05 o in SECS-S/01, nonché, dei predetti 132 crediti, almeno 90 crediti nel corso della laurea triennale, articolati come segue: almeno 12 in MAT, almeno 6 in FIS, almeno 6 in CHIM o GEO, almeno 6 in INF/01 o ING-INF/05 o SECS-S/01.
- per la classe A -26 MATEMATICA (ex 47/A) è richiesto che i Laureati Magistrali in Scienze Fisiche abbiano almeno 80 crediti di Matematica nei settori scientifico disciplinari MAT/02, 03, 05, 06, 08.

La tabella delle nuove classi di concorso con i relativi titoli di accesso è reperibile all'indirizzo:

<http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2016/2/22/16G00026/sg>

Inoltre, il decreto legislativo del 13 aprile 2017, n.59, Art. 5 stabilisce che per l'accesso al concorso per i posti di docente è necessario, oltre al possesso della Laurea Magistrale, il possesso di "24 crediti formativi universitari o accademici, di seguito denominati CFU/CFA, acquisiti in forma curricolare, aggiuntiva o extra curricolare nelle discipline antro-psico-pedagogiche e nelle metodologie e tecnologie didattiche, garantendo comunque il possesso di almeno sei crediti in ciascuno di almeno tre dei seguenti quattro ambiti disciplinari: pedagogia, pedagogia speciale e didattica dell'inclusione; psicologia; antropologia; metodologie e tecnologie didattiche."

Vedi: <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2017/05/16/17G00067/sg>, Art.5 - requisiti di accesso.

LINEAMENTI DEI CORSI DELLA LAUREA MAGISTRALE

Qui di seguito sono riportati, in ordine alfabetico, i programmi degli insegnamenti impartiti nel corso di Laurea Magistrale in Scienze Fisiche.

ACCELERATORI E REATTORI NUCLEARI (FIS/04)

S. Altieri, A. Braghieri

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti di base relativi al funzionamento degli acceleratori di particelle e dei reattori nucleari.

Prerequisiti

Nozioni di fisica nucleare, fisica quantistica, elettromagnetismo.

Programma

Il corso si propone di analizzare la produzione di fasci di elettroni, gamma, particelle cariche e neutroni, che vengono utilizzati in Fisica sperimentale e in medicina a scopo terapeutico e diagnostico. Sono presi in esame i principi di funzionamento di diversi tipi di acceleratori di particelle: acceleratori elettrostatici, betatrone, sincrotrone, ciclotrone, sincrociclotrone, acceleratori lineari. Breve presentazione dei principali laboratori nel mondo.

Per quanto riguarda i reattori nucleari viene studiata l'equazione di diffusione dei neutroni in semplici geometrie introducendo anche il metodo a multigruppi. Vengono quindi studiate le condizioni di criticità di un reattore nucleare con la teoria di diffusione a un gruppo e in geometrie semplici con particolare riferimento ai reattori termici con e senza riflettore. Si passa poi allo studio della cinetica del reattore approfondendo alcuni aspetti del reattore Triga. Vengono brevemente discusse le problematiche connesse all'uso dei reattori nucleari per la produzione di energia elettrica con riferimento alla sicurezza degli impianti, agli incidenti e ai rifiuti radioattivi.

Bibliografia

E. Persico et al., Principles of Particle Accelerators, Benjamin Inc. (1968).

E. J. N. Wilson, An Introduction to Particle Accelerators, Oxford U. Press (2001).

P. Germain, Introduction aux Accélérateurs de Particules, CERN 89-07.

J. R. Lamarsh, Anthony J. Baratta Introduction to Nuclear Engineering Prentice-Hall International (UK) Limited, London.

J. R. Lamarsh Introduction to nuclear reactor theory. Addison-Wesley Publishing Company.

Modalità di esame

Esame orale. Per la prova di esame si raccomanda di focalizzarsi sugli aspetti fisici degli argomenti trattati (andamenti qualitativi, grafici, metodi per misurare le varie proprietà...) piuttosto che sullo studio dettagliato delle derivazioni matematiche.

ALGEBRA SUPERIORE (MAT/02)

P. Pirola

Obiettivi formativi

Il corso si propone di fornire un'introduzione alla teoria delle algebre di Lie.

Prerequisiti

I contenuti dei corsi di Algebra 1, Algebra 2, Algebra lineare e Geometria 1.

Programma

Endomorfismi semisemplici; decomposizione di Jordan-Chevalley. Algebre e gruppi di Lie. Ideali e sottoalgebre. Algebre risolubili e nilpotenti. Teoremi di Lie e di Engel. Sottoalgebre di Cartan. Rappresentazioni lineari di algebre e gruppi di Lie. Rappresentazioni di $sl(2, \mathbb{C})$. Algebre di Lie semisemplici. Criteri di semisemplicità. Sistemi di radici e loro classificazione. Algebre di Lie

classiche. Le algebre di Lie eccezionali. Rappresentazioni di dimensione finita di algebre semisemplici.

Bibliografia

K. Erdmann, M.J. Wildon, Introduction to Lie Algebras, Springer 2006.

J. Humphreys, Introduction to Lie Algebras and Representation Theory, Springer 1972.

J.P. Serre, Algebres de Lie semi-simples complexes, Benjamin 1966.

A. Kirillov, Introduction to Lie Groups and Lie Algebras,

<https://www.math.stonybrook.edu/~kirillov/mat552/liegroups.pdf>

J. Bernstein, Lectures on Lie Algebras,

http://www.math.tau.ac.il/~bernstei/Publication_list/publication_texts/bernsteinLieNotes_book.pdf

Modalità di esame

Esame orale.

ANALISI FUNZIONALE (MAT/05)

M.G. Mora

Obiettivi formativi

Il corso intende fornire agli studenti gli strumenti necessari per la formulazione di problemi dell'Analisi Matematica in spazi di dimensione infinita. A questo scopo verranno presentati i fondamenti dell'Analisi funzionale, con particolare attenzione alla teoria degli spazi di Banach e di Hilbert.

Prerequisiti

Calcolo differenziale ed integrale per funzioni di più variabili. Teoria della misura e dell'integrazione secondo Lebesgue. Nozioni di base di algebra lineare.

Programma

Richiami su norme e prodotti scalari. Spazi vettoriali topologici. Spazi normati. Operatori lineari e continui. Duale topologico. Spazi di Banach. Il teorema di Hahn-Banach: forma analitica e forme geometriche, e sue conseguenze. Lemma di Baire. Teorema di Banach-Steinhaus. Teorema dell'applicazione aperta, teorema del grafico chiuso e loro conseguenze. Topologia debole*, topologia debole e loro proprietà. Teorema di Banach-Alaoglu. Spazi riflessivi. Spazi separabili. Spazi L^p . Proprietà elementari. Riflessività e separabilità in L^p . Teorema di rappresentazione di Riesz. Approssimazione per convoluzione. Teorema di Ascoli-Arzelà. Teorema di Fréchet-Kolmogorov. Spazi di Hilbert. Proiezione su un convesso chiuso. Teorema di Riesz di rappresentazione del duale. Teoremi di Stampacchia e di Lax-Milgram. Sistemi ortonormali completi. Operatori compatti. Operatore aggiunto di un operatore limitato. Teorema dell'alternativa di Fredholm. Spettro di un operatore compatto. Decomposizione spettrale di un operatore compatto e autoaggiunto. Operatori di tipo integrale. Applicazione al problema di Sturm-Liouville.

Bibliografia

H. Brézis: Functional analysis, Sobolev spaces and partial differential equations. Springer, 2011.

W. Rudin: Real and complex Analysis. McGraw-Hill, 1987.

Modalità di esame

Esame scritto e orale.

ASTROFISICA (FIS/05)

A. Giuliani

Obiettivi formativi

Il corso si propone di fornire le basi per la comprensione, sia qualitativa che quantitativa, di alcuni aspetti dell'astrofisica contemporanea, con particolare attenzione all'astrofisica delle alte energie.

Prerequisiti:

La comprensione degli argomenti del corso presuppone la conoscenza dei concetti di base di relatività speciale e fisica delle particelle.

Programma

Gli argomenti principali sono i seguenti:

- Fondamenti di cosmologia e radiazione cosmica di fondo;
- Formazione ed evoluzione stellare;
- Processi radiativi nell'astrofisica delle alte energie: Bremsstrahlung, Sincrotrone, Compton inverso, decadimento del pione neutro;
- Astrofisica dei raggi cosmici: sorgenti, propagazione e interazione con il mezzo interstellare
- Gamma-Ray Bursts;
- Oggetti compatti: nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri;
- Sistemi binari e accrescimento;
- Nuclei galattici attivi

Bibliografia

M. S. Longair, "High energy astrophysics", Cambridge University Press, Third edition.

Modalità di esame

Prova orale. La prima parte della prova consiste in una presentazione (10 min, con supporto di slide) da parte dello studente di un tema inerente al corso. Nella seconda parte si svolgerà un colloquio volto ad accertare le conoscenze degli altri argomenti trattati nel corso.

ASTRONOMIA (FIS/05)

A. De Luca

Obiettivi

Il corso si propone di fornire le basi per la comprensione dei principali aspetti della ricerca contemporanea in astronomia e astrofisica delle alte energie, dalla rivelazione del segnale alla comprensione delle proprietà di sorgenti astrofisiche, con particolare attenzione alla banda dei raggi X.

Prerequisiti

Corsi di Fisica I ed elettromagnetismo; conoscenze di base di astronomia (consigliato il corso di Introduzione all'astronomia).

Programma

Astronomia multilunghezze d'onda. Interazione radiazione-materia. Rivelatori per astronomia in banda X. Ottiche per astronomia in banda X. Missioni per astronomia X. Fenomenologia di sorgenti astrofisiche di raggi X: stelle di piccola massa; stelle di grande massa; supernovae; resti di supernova; stelle di neutroni isolate; sistemi binari in accrescimento; nuclei galattici attivi; ammassi di galassie; radiazione di fondo isotropa in banda X; lampi di raggi gamma. Introduzione all'analisi di osservazioni in banda X (esercitazioni al computer): l'osservatorio XMM-Newton dell'ESA e i suoi dati; analisi di immagini; analisi di serie temporali; analisi di spettri in energia.

Bibliografia

F.D. Seward, P.A. Charles, Exploring the X-ray universe, Cambridge University Press, 2nd edition.

A. Siemiginowska, K. Arnaud, Handbook of X-ray astronomy, Cambridge University Press.

W. R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment. Springer-Verlag Berlin.

M. S. Longair, "High energy astrophysics", Cambridge University Press, Third edition.

Il docente mette a disposizione le slides proiettate a lezione e articoli di ricerca e review recenti.

Modalità di esame

Esame orale; la presentazione di un argomento del corso a scelta (eventualmente approfondito) è seguita da un colloquio riguardante tematiche del corso non affrontate nella prima parte dell'esame.

ASTROPARTICELLE (FIS/05)

P.W. Cattaneo

Obiettivi formativi

Il corso si propone di introdurre la fenomenologia della astrofisica influenzata dalla fisica delle particelle.

Prerequisiti

E' consigliabile che gli studenti abbiano completato i corsi della laurea triennale attinenti all'argomento quali: Introduzione alla Fisica Nucleare, Introduzione alla Fisica Subnucleare, Introduzione all'Astronomia.

Programma

Gli argomenti principali sono:

- Fenomenologia dei raggi cosmici ad alta energia
- Fenomenologia dei neutirni cosmici ad alta energia
- Esperimenti dedicati ai raggi cosmici ad alta energia
- Esperimenti dedicati ai neutrini ad alta energia
- Fenomenologia delle onde gravitazionali
- Esperimenti dedicati alle onde gravitazionali
- Fenomenologia della materia oscura
- Rivelazione diretta e indiretta della materia oscura

Bibliografia

Cosmic rays and particle physics, T, Gaisser, Cambridge University Press.

Materiale didattico a disposizione all'indirizzo: <http://www2.unipv.it/~cattaneo/astroparticelle-2015-2016.html>.

Lezioni di cosmologia teorica, Maurizio Gasperini, Springer-Verlag 2012.

Relatività generale e teoria della gravitazione, Maurizio Gasperini, Springer-Verlag 2010.

Introduction to particle cosmology, Cosimo Bambi e Alexandre D. Dolgov, Springer-Verlag 2016.

Cosmic ray astrophysics, Reinhard Schlickeiser, Springer-Verlag 2003.

Modalità di esame

L'esame è solo orale e si compone di una prima parte in cui lo studente presenta un argomento a scelta attinente al corso, eventualmente con approfondimenti per circa 15'. In una seconda parte il docente interroga lo studente su argomenti svolti nel corso non affrontati nella prima parte per altri 15' circa.

BIOLOGIA GENERALE, ANATOMIA E FISIOLOGIA UMANA (BIO/06)

R. Nano, A. Facoetti

Obiettivi formativi

Apprendimento di concetti e meccanismi di base di biologia, anatomia e fisiologia.

Prerequisiti

la comprensione degli argomenti del corso presuppone la conoscenza dei concetti di base di Biologia della cellula e dei tessuti a livello dei programmi della scuola superiore

Programma

La cellula come unità fondamentale degli organismi: organizzazione e funzione.

Organizzazione delle cellule procariote ed eucariote.

La base strutturale dell'informazione cellulare: DNA, cromosomi, mitosi e meiosi, RNA e sintesi proteica.

I ruoli chiave della divisione cellulare; apoptosi (morte cellulare programmata), necrosi.

Tecniche di colorazione morfologica e immunoistochimica.

Tessuto epiteliale, connettivale, muscolare, nervoso.

Midollo osseo, cellule del sangue e del sistema immunitario.

Sistema circolatorio, digestivo, respiratorio.

Definizione di cellula tumorale

Bibliografia

Testo consigliato

Istologia (Ed. Piccin) per i corsi di laurea in professioni Sanitarie.

S. Adamo, P. Comoglio, M. Molinaro, G. Siracusa.M. Stefanini, E. Ziparo.

Modalità di esame

L'esame orale è finalizzato a verificare la comprensione dei principali meccanismi di duplicazione cellulare (mitosi, meiosi), di danno e riparo del DNA, di trasformazione cellulare nei tumori.

CHIMICA FISICA III (CHIM/02)

P. Ghigna, D. Capsoni

Obiettivi formativi

Il corso ha lo scopo di fornire agli studenti competenze nel settore della chimica fisica dello stato solido e sulla relazione struttura-proprietà della materia. Alla fine del corso lo studente dovrà essere in grado di discutere le proprietà atomiche, elettroniche e difettuali dei solidi, correlandole con la struttura cristallina.

Prerequisiti

Conoscenze di base di Chimica Fisica e di Fisica, come vengono fornite dai corsi della laurea Triennale in Chimica e Fisica.

Programma

Il corso è dedicato agli aspetti di base della Chimica Fisica dello stato solido e prevede lezioni frontali di teoria ed esempi applicativi sui seguenti argomenti. Simmetrie nei solidi, fononi e vibrazioni reticolari; Proprietà elettroniche dei solidi: modello tight-binding (LCAO), bande di energia, schemi di zona ridotta ed estesa, soluzione al bordo zona e numero di stati in una banda; Metalli, isolanti, semiconduttori; Conducibilità intrinseca e intervallo proibito di energia; Elettroni e lacune, portatori di carica e conducibilità estrinseca (da impurezze): mobilità, vita media dei portatori e meccanismi di ricombinazione; Giunzioni p-n, proprietà raddrizzatrici delle giunzioni con alcune applicazioni; Difetti di equilibrio in composti stechiometrici e non stechiometrici e relazioni difetti-proprietà: conducibilità e diffusività. Cinetica eterogenea e difetti di volume, nucleazione di fase, fenomeni di interfaccia e meccanismi limite di spostamento di interfaccia. Modelli geometrici per studi di cinetica e meccanismo di reazione allo stato solido.

Bibliografia

P. A. Cox, "The electronic structure and chemistry of solids", Oxford Science Pub., 1999.

A.R. West, "Solid State Chemistry and its applications", 2nd Ed, 2014.

C. Kittel, "Introduction to solid state physics", John Wiley & Sons Inc., 8th Ed, 2005.

Michael Glazer and Gerald Burns, Space Groups for Solid State Scientists, 3rd Ed., 2013.

Dispense fornite dal docente.

Modalità di esame

L'esame orale consiste nella verifica del conseguimento degli obiettivi formativi forniti in entrambi i moduli. Lo studente dovrà dimostrare di saper affrontare problemi di chimica dello stato solido indipendentemente dagli esempi specifici svolti a lezione.

COMPLEMENTI DI FISICA DI BASE (FIS/08)

Vedi: Lauree triennali

COMPLEMENTI DI FISICA TEORICA (FIS/02)

B. Pasquini

Obiettivi formativi

Apprendimento di concetti e fenomeni di base relativi alla fisica dei sistemi a molte particelle.

Prerequisiti

Meccanica quantistica.

Programma

Modelli a particelle indipendenti; seconda quantizzazione in ambito non relativistico; osservabili in seconda quantizzazione; descrizione di un sistema mediante stati di quasi-particella; la trasformazione di Bogoliubov-Valatin; teorema di Wick; metodo di Hartree-Fock; metodo BCS; la funzione di Green come risolvente di un'equazione della fisica-matematica; funzione di Green di particella singola per sistemi a temperatura zero; rappresentazione di Lehmann e densità spettrale; teoria della risposta lineare; metodi di calcolo, esempi di sistemi di fermioni e di bosoni.

Bibliografia

S. Boffi: Da Heisenberg a Landau; un'introduzione alla fisica dei sistemi a molte particelle, Bibliopolis, Napoli, 2004.

A.L. Fetter, J.D. Walecka "Quantum theory of many particle systems", McGraw-Hill, 1971; Dover 2002.

Modalità di esame

Esame orale.

COMPLEMENTI DI MECCANICA STATISTICA (FIS/02)

M.F. Sacchi

Obiettivi formativi

Fornire i) elementi della teoria meccanico-statistica di non equilibrio, ii) metodi per trattare sistemi quantistici aperti, iii) trattazione termodinamica di processi dinamici quantistici.

Prerequisiti

Aspetti fondamentali di termodinamica. Meccanica quantistica. Metodi matematici della fisica.

Programma

- Elementi della teoria meccanico-statistica di non equilibrio:

sistemi aperti, approssimazione di Born-Markoff, Master Equation; semigruppì dinamici e forma di Lindblad; rappresentazione della dinamica a tempi discreti: mappe completamente positive e isomorfismo di Jamiołkowski. Equazioni di Langevin, equazioni di Fokker-Planck, metodo della funzione di Green. Teorema della regressione quantistica e funzioni di correlazione. Relazioni di Einstein tra diffusione e drift. Funzioni generalizzate di Wigner.

- Metodi numerici:

metodo della cumulativa, Monte Carlo e algoritmo di Metropolis; quantum jump.

- Applicazioni:

forma di riga Lorenziana dell'emissione spontanea. Equazioni di Bloch completa per sistemi a due livelli, tempi di rilassamento T_1 e T_2 . Radiazione in cavità; Lamb-shift dipendente dalla temperatura (nonrelativistico).

Master equation e Fokker-Planck per perdita e amplificazione della radiazione.

- Operatore statistico canonico generalizzato e teoria della risposta:

livelli di osservazione ed entropia. I e II legge della termodinamica per processi dinamici. Prodotto scalare di Mori (correlazione canonica) e identità di Kubo. Operatori delle forze generalizzate.

- Teoria della risposta lineare per sistemi classici e quantistici:

suscettività isoterma e adiabatica; suscettività dinamica; formula di Kubo. Funzioni di rilassamento. Teorema di Wiener-Khinchine; relazioni di Kramers-Kronig; teorema di Johnson-Nyquist. Equazioni di Langevin-Mori. Matrice di memoria e coefficienti dinamici di Onsager. I e II teorema di fluttuazione-dissipazione. Master equation generalizzate: metodo dei proiettori (equazione di Nakajima-Zwanzig).

Produzione irreversibile di entropia. Lavoro per trasformazioni fuori dall'equilibrio: relazione di Crooks e uguaglianza di Jarzynski.

Bibliografia

The theory of open quantum systems, H.-P. Breuer and Petruccione (Oxford University Press);

Statistical physics II: Nonequilibrium statistical mechanics, R. Kubo, M. Toda, and N. Hashitsume (Springer);

The quantum statistics of dynamic processes, E. Fick and G. Sauermaun (Springer).

Modalità di esame

Esame orale, al fine di verificare la conoscenza degli elementi della teoria meccanico-statistica di non equilibrio, e la comprensione dei metodi per trattare sistemi quantistici aperti e la termodinamica di processi dinamici quantistici.

Si raccomanda di focalizzarsi sulla comprensione fisica degli argomenti trattati, concentrandosi sui differenti approcci (classico, semiclassico, e quantistico) agli argomenti del corso, e sui regimi di validità delle assunzioni e approssimazioni adottate nei diversi contesti.

COMPLEMENTI DI STRUTTURA DELLA MATERIA (FIS/03)

P. Carretta, G. Prando

Obiettivi formativi

Acquisire la conoscenza degli aspetti fondamentali delle transizioni di fase, dei materiali magnetici e dei superconduttori. Applicare la meccanica quantistica nella derivazione degli autovalori e delle funzioni di risposta di questi sistemi. Lo studente dovrà aver acquisito una sufficiente padronanza di questi argomenti, tale da consentirgli di seguire con sufficiente autonomia parte della letteratura in questi settori e di interagire in modo proficuo con i ricercatori di queste aree.

Prerequisiti

Conoscenza dei fondamenti della meccanica quantistica, della meccanica statistica e della struttura dei solidi: strutture reticolari, le bande elettroniche e le vibrazioni reticolari. Queste nozioni dovrebbero essere state acquisite nel corso della laurea triennale.

Programma

Vengono presentati gli aspetti generali delle transizioni di fase: fenomenologia, transizioni del primo e del secondo ordine, parametro d'ordine, funzioni di risposta, esponenti critici. Viene trattata la funzione di correlazione, il fattore di struttura statico e il loro comportamento in prossimità di una transizione di fase, gli effetti di correlazione tra variabili critiche e il modello di Stoner-Hubbard. Saranno quindi illustrate le proprietà magnetiche della materia. Nei metalli viene descritta: la suscettività generalizzata, i livelli di Landau, effetto de Haas-Van Alphen, diamagnetismo di Landau e paramagnetismo di Pauli, gli effetti di dimensione finita e le onde di densità di spin. Negli isolanti sono richiamati il paramagnetismo di Curie, Van-Vleck e gli effetti di campo cristallino. Vengono presentate le interazioni di scambio dirette e indirette e successivamente il ferromagnetismo, l'antiferromagnetismo e altri tipi di ordine magnetico, le loro proprietà statiche e le onde di spin. Sono inoltre illustrati gli effetti indotti dalla frustrazione magnetica e le proprietà dei magneti molecolari. Saranno infine trattati gli aspetti fondamentali dei superconduttori: proprietà termodinamiche, equazioni di London, la formazione delle Coppie di Cooper, il Gap e l'effetto isotopico, l'effetto Josephson e lo SQUID e illustrata la teoria di Ginzburg-Landau. Saranno inoltre presentate alcune tecniche sperimentali adatte allo studio dei materiali magnetici e superconduttori: magnetometria, NMR, μ SR e diffusione di neutroni.

Bibliografia

A. Rigamonti and P. Carretta, Structure of Matter (3rd Edition) Springer International Pub. (2015).

G. Grosso and G. Pastori Parravicini, Solid State Physics (Academic Press, 2000).

H. Eugene Stanley, Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena (Oxford University Press).

C. Kittel, Introduction to Solid State Physics (John Wiley & Sons 2005).

Modalità di esame

Esame orale. Si raccomanda di focalizzarsi sulla comprensione fisica degli argomenti trattati, sui limiti di validità e sulle approssimazioni utilizzate nelle derivazioni. In particolare, è importante saper illustrare la fisica alla base degli andamenti qualitativi delle diverse quantità e i metodi sperimentali utilizzati per misurarle

DIDATTICA DELLA FISICA (FIS/08)

G. Introzzi

Obiettivi formativi

Il corso costituisce un'introduzione alla didattica della fisica, sia come contributo alla formazione professionale di futuri insegnanti di scuola secondaria superiore, sia per la preparazione alla ricerca nel campo della didattica. Per quanto riguarda il primo obiettivo, scopo del corso è rendere i futuri docenti capaci d'analizzare criticamente i libri di testo e di formulare percorsi didattici che s'avvalgano sia di strumenti storico-fondazionali, sia dei risultati delle recenti ricerche in didattica della Fisica moderna. Circa il secondo obiettivo, verranno illustrati temi e metodi della ricerca in didattica della Fisica moderna.

Prerequisiti

Concetti di Relatività ristretta e di Fisica quantistica, usualmente acquisiti nel corso della laurea triennale in Fisica. Anche agli studenti provenienti da Matematica è richiesta la conoscenza della Meccanica quantistica. A loro è fortemente consigliato di sostenere l'esame di Fondamenti della fisica, prima di frequentare la Parte 2 di Didattica della fisica.

Programma

Parte 1 – Temi principali: L'evoluzione della didattica della fisica, le idee fondanti e le linee principali di ricerca; le difficoltà degli studenti e le concezioni alternative; spiegazioni scientifiche e conoscenza comune; la ricostruzione didattica dei contenuti; elaborazione di percorsi d'insegnamento e apprendimento; il ruolo nell'apprendimento e nell'insegnamento di alcuni aspetti caratterizzanti la costruzione della conoscenza fisica (i modelli, le analogie, gli esperimenti, i problemi). Argomenti di fisica di riferimento: Meccanica classica, lavoro ed energia, statica dei fluidi, fenomeni termici, fenomeni ondulatori, ottica, elettrostatica e circuiti elettrici.

Parte 2 – Il ruolo della storia della fisica e dell'epistemologia nell'insegnamento della Fisica moderna. La didattica della Fisica quantistica nella scuola secondaria di secondo grado. Le difficoltà specifiche degli studenti e le proposte didattiche avanzate nel panorama italiano ed internazionale. Il tema del "cambiamento concettuale" nella didattica della fisica quantistica. La didattica della Relatività ristretta e i diversi approcci possibili.

Bibliografia

Ianniello M.G., De Maria M., Storia e didattica della fisica. Strumenti per insegnare – Aracne (2004).
Di Cataldo F., Insegnare fisica. Nella scuola secondaria di secondo grado oggi. Anicia (2013).
Besson U., Didattica della fisica. Carocci (2015).
Besson U., Malgieri M., Insegnare la fisica moderna. Carocci (2018).
Tarsitani C., Dalla fisica classica alla fisica quantistica. Riflessioni sul rinnovamento dell'insegnamento della fisica. Editori Riuniti (2009).

Modalità di esame

Preparazione di un elaborato scritto da parte degli studenti ed esame orale.

DIDATTICA DELLA MATEMATICA (MAT/04)

S. Antonini

Obiettivi formativi

Il corso propone l'analisi dei principali modelli di insegnamento/apprendimento della matematica e dei principali quadri teorici che forniscono riferimenti classici alla ricerca in didattica della matematica.

Prerequisiti

Sono richieste le conoscenze e le competenze matematiche fornite dalla laurea triennale in matematica. Il corso è sconsigliato agli studenti della laurea triennale.

Programma

Modelli di insegnamento-apprendimento della matematica:

- il modello tradizionale della trasmissione della conoscenza
- il costruttivismo radicale
- il costruttivismo sociale
- la teoria delle situazioni didattiche.

Esame dei Programmi Ministeriali di matematica per la scuola Preuniversitaria.

Parallelamente, saranno approfondite le linee generali di alcune "teorie" che forniscono il quadro di riferimento classico alla ricerca in didattica della matematica e si esaminerà come alcune delle idee elaborate in queste teorie vengono applicate in specifici studi di didattica della matematica.

Verranno trattati in particolare:

- gli studi sullo sviluppo cognitivo secondo Piaget
- gli studi di Fischbein sull'intuizione
- gli studi di Vygotskij e l'approccio storico-culturale.

Bibliografia

Articoli tratti da riviste e altri materiali di lavoro messi a disposizione dal docente.

Documenti reperibili in rete sul sito del Ministero della Pubblica Istruzione (indicati di volta in volta durante il corso e segnalati sul programma svolto e disponibile agli studenti a fine corso).

Modalità di esame

Prova orale. La prova consiste in un colloquio volto ad accertare le conoscenze degli argomenti trattati nel corso.

ECONOFISICA (FIS/02)

G. Montagna

Obiettivi formativi

Il corso si propone di illustrare il ruolo della fisica statistica, e in particolare della teoria dei processi stocastici, nella modellizzazione della dinamica dei mercati finanziari e nella valutazione dei principali strumenti finanziari. Il corso si propone più generale di stimolare l'interesse degli studenti verso le applicazioni interdisciplinari della fisica teorica.

Prerequisiti

Buona conoscenza dei concetti fondamentali di probabilità e statistica. Conoscenze universitarie di matematica, in particolare equazioni differenziali, come acquisite durante la laurea triennale. E' anche consigliabile una certa familiarità coi principali risultati di Meccanica Statistica classica.

Programma

Si discutono le principali applicazioni dei metodi della fisica teorica allo studio della dinamica dei mercati finanziari.

La prima parte del corso è dedicata alla teoria dei processi stocastici, mentre la seconda parte illustra il ruolo dei processi stocastici in econofisica e finanza.

Moto browniano e interpretazioni di Einstein e Langevin. Random walk, processi di diffusione e legame col teorema del limite centrale. Processi di Markov, di Wiener e loro proprietà. Equazione di Fokker-Planck. Equazioni differenziali stocastiche e cenni di calcolo stocastico. Processi di Ito e di Ornstein-Uhlenbeck.

Introduzione ai mercati e agli strumenti finanziari. Moto browniano geometrico e distribuzione lognormale dei prezzi. Opzioni e modello di Black-Scholes. Limiti del modello di Black-Scholes. Opzioni esotiche e alberi binomiali. Tassi di interesse, obbligazioni e modello di Vasicek.

Analisi empirica dei dati finanziari ad alta frequenza. Distribuzioni a legge di potenza, processi di Levy e teorema del limite centrale generalizzato. Cenni ai modelli a volatilità stocastica.

Bibliografia

W. Paul, J. Baschnagel, Stochastic processes from physics to finance, Springer.

R.N. Mantegna, H.E. Stanley, An introduction to econophysics, Cambridge Univ. Press.

Modalità di esame

Esame orale. Lo studente dovrà dimostrare di essersi impadronito del formalismo necessario alla trattazione teorica dei processi stocastici (in particolare, le regole del calcolo stocastico) e di come questo trovi applicazione nella modellizzazione dei mercati e strumenti finanziari.

ELEMENTI DI RADIOPROTEZIONE (FIS/07)

E. Giroletti

Obiettivi formativi

Al termine del corso lo studente dovrà conoscere, per sommi capi, le problematiche connesse con la tutela dalle radiazioni ionizzanti dei lavoratori, della popolazione e dei pazienti esposti nelle pratiche mediche. Il corso tratterà, oltre agli aspetti fisici, anche quelli operativi e normativi della radioprotezione.

Prerequisiti

Si danno per acquisiti i seguenti concetti: campo elettrico e magnetico; spettro elettromagnetico; frequenza, periodo, lunghezza, energia e ampiezza d'onda; atomo e particelle nucleari, decadimento radioattivo, catene radioattive, interazione della radiazione ionizzante con la materia.

Programma

Gli argomenti del corso sono: danni conseguenti alla esposizione alle radiazioni ionizzanti (cenni); sistema di protezione radiologica; grandezze radiometriche; modalità di esposizione alle radiazioni (esterna ed interna); grandezze radioprotezionistiche (dose equivalente e dose efficace, dose efficace impegnata, dose collettiva, livelli operativi derivati); limiti di dose individuale e livelli diagnostici di riferimento; aspetti pratici della radioprotezione e modalità di tutela, quali: tempo, distanza, schermi e protezione dalla contaminazione interna; principali tipologie di sorgenti radiogene di origine antropica (industria, sanità e ricerca) e di origine naturale (radon, NORM, TeNORM, cosmici, ecc.); panoramica sulla normativa vigente; (cenni) organismi internazionali e nazionali.

Bibliografia

Pelliccioni M, Fondamenti fisici della radioprotezione, ed. Pitagora, Bologna, 1990.

Vergine A.L, Giroletti E, Radiazioni ionizzanti: protezione dei lavoratori, della popolazione e dei pazienti, ed. Esse Libri, 2003 (testo normativo).

I files dei LUCIDI DELLE LEZIONI verranno forniti direttamente agli studenti.

Altri testi di riferimento

Shapiro J, A radiation protection guide for scientists and physicians, Harvard university press, IVth ed.

Martin E, Physics for Radiation Protection, Wiley-Interscience, 2000.

Dorschel B, Schuricht V, Stener J, The physics of radiation protection, Nuclear Technology Publ., Asford, 1996.

Modalità di esame

Orale su tutti gli argomenti del corso. Si raccomanda gli studenti di focalizzarsi sugli aspetti teorici e metodologici per affrontare le varie situazioni tipiche della radioprotezione, quali ad esempio: contaminazione interna, dosimetria esterna, calcolo schermature, monitor radiazioni, grandezze radioprotezionistiche. Non sono richiesti calcoli specifici sui vari problemi

ELETTRODINAMICA E RELATIVITÀ (FIS/02)

Vedi: Lauree triennali

ELETTRODINAMICA QUANTISTICA (FIS/02)

A. Bacchetta

Obiettivi formativi

Introdurre i concetti di base delle teorie di campo quantistiche e relativistiche.

Prerequisiti

Meccanica Quantistica, Relatività Speciale

Programma

Il corso affronta i seguenti argomenti principali

- Equazioni di Klein-Gordon e Dirac
- Teorie di campo e loro quantizzazione
- Interazioni tra campi e diagrammi di Feynman
- Calcolo di alcuni processi di scattering a tree level.

Bibliografia

Dispense (si veda <http://www.unipv.it/~bacchett/teaching.html>)

F. Mandl, G. Shaw, "Quantum Field Theory - Second Edition" (Wiley, 2010)

Altre letture:

L. Ryder, "Quantum Field Theory", Cambridge

M. Peskin, Schroeder, "An Introduction to Quantum Field Theory",

I.J.R. Aitchison, A.J.G. Hey, "Gauge theories in particle physics – A practical introduction", Vol I, Fourth edition.

Modalità di esame

Esame scritto (calcolo di una sezione d'urto per un processo di scattering a tree level) e orale.

EQUAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA (MAT/07)

G. Toscani

Obiettivi formativi

Scopo del corso è quello di fornire un'introduzione allo studio delle principali equazioni della fisica matematica, utilizzando quasi esclusivamente strumenti di analisi matematica classica.

Prerequisiti

Si suppongono noti i contenuti dei corsi del primo biennio.

Programma

Richiami su calcolo vettoriale, gradiente, rotore e divergenza. Teorema della divergenza. Teorema di Stokes. Formule di Green. Sistemi di coordinate curvilinee ortogonali. Equazioni alle derivate parziali del secondo ordine. Classificazione. Equazioni ellittiche. Equazione di Laplace, teorema della media, principio del massimo. Cenni di analisi complessa (funzioni analitiche, formule di Cauchy-Riemann). Problemi di Dirichlet e di Neumann per il cerchio. Cenni di fluidodinamica piana. Equazioni paraboliche. Equazione di diffusione del calore. Soluzioni esatte e metodo di similarità. Equazione di diffusione del calore: risoluzione del problema di Cauchy unidimensionale mediante il metodo di Fourier. Problema al valore iniziale ed al contorno per l'equazione di diffusione del calore: il metodo di separazione delle variabili. Equazioni iperboliche. Equazione delle onde: risoluzione del problema di Cauchy e del problema al valore iniziale ed al contorno. Formula di D'Alembert.

Bibliografia

E. Persico: "Introduzione alla fisica matematica", Zanichelli, Bologna, 1943. (Download da <http://matematica.sns.it/opere/323/>)

Modalità di esame

Esame orale

EQUAZIONI DIFFERENZIALI E SISTEMI DINAMICI (MAT/06)

Vedi: Lauree triennali

FENOMENI DI DIFFUSIONE E TRASPORTO (MAT/07)

F. Salvarani, F. Bisi

Obiettivi formativi

Il corso fornisce uno studio matematico introduttivo di alcune notevoli equazioni alle derivate parziali di tipo evolutivo che descrivono fenomeni di trasporto e diffusione.

Si evidenzieranno i legami tra le proprietà fisiche dei sistemi e le proprietà matematiche dei modelli corrispondenti, in particolare l'equazione di Boltzmann e il modello di materia soffice (continui).

Prerequisiti

Nozioni di base di analisi matematica, algebra lineare, meccanica e analisi funzionale

Programma

a) Equazioni di trasporto

Origine delle equazioni di trasporto e diffusione: il random walk, equazione del calore ed equazione del trasporto libero.

Il formalismo della teoria cinetica. Scaling di trasporto e di diffusione. Passaggio formale dal trasporto alla diffusione.

Fenomeni modellizzati con equazioni di trasporto. Cenni alle equazioni di Vlasov-Poisson ed alle equazioni di Vlasov-Maxwell.

L'equazione lineare del trasporto libero: il problema di Cauchy. Il metodo delle caratteristiche, stime.

Il problema ai limiti per l'equazione lineare del trasporto libero. Bordo entrante, uscente e caratteristico. Tempo di uscita retrogrado, regolarità. Principio del massimo per l'equazione del trasporto.

Equazione stazionaria del trasporto: teorema di esistenza ed unicità, principio del massimo.
Il problema di Cauchy per l'equazione di Boltzmann lineare. Esistenza ed unicità, stime e positività della soluzione.
Il problema ai limiti per l'equazione di Boltzmann lineare: condizioni di riflessione speculare, di riflessione diffusa e di accomodamento. Il lemma di Darrozes-Guiraud. Esistenza ed unicità della soluzione.
Il limite asintotico in tempo per l'equazione di Boltzmann lineare.
Il limite di diffusione per l'equazione di Boltzmann lineare. Scaling diffusivo e sviluppo di Hilbert.
Metodi alle differenze finite per equazioni di trasporto: schemi di Lax-Friedrichs ed upwind. Il metodo diamante.
Il metodo delle ordinate discrete ed il metodo Monte Carlo per l'equazione di Boltzmann lineare.
Introduzione all'equazione di Boltzmann.

b) Equazioni di diffusione

Introduzione alla meccanica dei continui. Formulazione lagrangiana ed euleriana.
Deformazione e movimento. Equazioni di bilancio. Grandezze termodinamiche ed equazioni costitutive.
Materiali classici: fluidi perfetti, incomprimibili, barotropici; fluidi perfetti ed equazioni di Eulero; fluidi newtoniani ed equazioni di Navier Stokes. Unicità e stabilità per soluzioni di un problema di flusso viscoso.
Equazione del calore come paradigma della diffusione. Condizioni al bordo di Dirichlet, di Neumann, di Robin, miste. Unicità della soluzione con il metodo dell'energia. Principio del massimo (minimo) debole e forte; corollari. Riscaldamento parabolico. Soluzione fondamentale. Uso della soluzione fondamentale per il problema di Cauchy omogeneo e per il problema non omogeneo.
Equazione dei mezzi porosi (equazione non lineare del calore) (EMP) standard.
Propagazione a velocità finita: soluzioni stazionarie, a variabili separabili, di tipo onde, soluzione fondamentale di Barenblatt. Fluido incomprimibile in mezzo poroso.
Flusso di Stefan e diffusione alla Stefan-Maxwell; applicazioni.

Bibliografia

L.C. Evans: "Partial Differential Equations", American Mathematical Society, Providence (RI), 1998.
R.T. Glassey: "The Cauchy problem in kinetic theory", Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), Philadelphia, PA, 1996.
C. Villani: "A review of mathematical topics in collisional kinetic theory". Handbook of mathematical fluid dynamics, Vol. I, 71-305, North-Holland, Amsterdam, 2002.
M.E. Gurtin: "An Introduction to Continuum Mechanics", Academic Press (NY), 1981.
S. Salsa: "Partial Differential Equations in Action: From Modelling to Theory", Springer (Milan), 2009.
J. L. Vazquez: "The porous medium equation: mathematical theory" (XXII – Oxford mathematical monographs) Clarendon Press (Oxford), 2007.
Appunti dei docenti.

Modalità di esame

Prova scritta (dissertazione). Per la valutazione finale può essere aggiunta una prova orale.

FISICA DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI A STATO SOLIDO (FIS/03)

V. Bellani

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti riguardanti i nanomateriali, le loro proprietà fisiche e il loro studio sperimentale.

Prerequisiti

Nozioni di elettromagnetismo e di fisica dello stato solido.

Programma

Il corso descrive la fisica dei nanomateriali. Gli argomenti trattati sono: - I nanomateriali – Le tecniche sperimentali per lo studio di nanomateriali e singoli strati di atomi: la microscopia e la spettroscopia a effetto tunnel (STM e SPM); Il trasporto elettrico; L'assorbimento e ri-emissione e lo scattering di luce; La spettroscopia ottica ultraveloce - Il grafene, i singoli strati atomici di materiali di Van der Waals e la misurazione delle loro proprietà fisiche; I fermioni di Dirac, le farfalle di

Hofstadter, le cariche frazionarie, i cristalli di Wigner – Applicazione di tali nanomateriali; i dispositivi a singolo elettrone, la spintronica, i dispositivi quantistici.

Bibliografia

La bibliografia più attuale, basata su libri e articoli scientifici, sarà indicata durante il corso.

Modalità di esame

Colloquio orale con possibilità di seminario su approfondimenti di un argomento trattato a lezione.

FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI I (FIS/04)

G. Boca

Obiettivi formativi

Apprendimento degli aspetti sperimentali della fisica dei quark e del bosone di Higgs, della fisica dei neutrini e della ricerca di particelle supersimmetriche.

Prerequisiti

Laurea triennale in Fisica in cui è stato seguito il corso di Introduzione alla Fisica Subnucleare (a Pavia) o corsi equivalenti in altre Università; si consiglia fortemente di seguire prima un corso di Teoria Quantistica dei Campi o equivalente.

Programma

La dinamica delle interazioni fondamentali delle particelle elementari è illustrata in modo quantitativo esaminando tematiche di interazioni elettrodeboli e forti nelle reazioni leptone-leptone, leptone-adrone e adrone-adrone nell'ambito del Modello Standard delle Particelle Elementari. In particolare sono approfonditi argomenti riguardanti: produzione e decadimento dei bosoni vettori intermedi W e Z, produzione di jets di particelle, produzione e decadimento dei quarks top e bottom. Sono quindi trattati argomenti attuali di Fisica delle particelle con particolare riferimento alla sperimentazione ai grandi collisionatori di particelle e nei laboratori sotterranei:

- a) Fisica al Large Hadron Collider, in particolare la produzione ed il decadimento del bosone di Higgs e delle particelle supersimmetriche
- b) Fisica del neutrino, in particolare la fenomenologia delle oscillazioni di neutrini solari ed atmosferici e di neutrini da reattori ed acceleratori.

Bibliografia

C. Conta, Introduction to Modern Particle Physics, Pavia University Press, 2010.

D. H. Perkins, Introduction to high energy physics, Cambridge University Press, 2000 (reprint 2003).

C. Conta, The Physics at the Large Hadron Collider, FNT/DD 2009.

C. Conta, Neutrino oscillations, FNT/DD 2009.

Modalità di esame

Esame orale

FISICA DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI (FIS/04)

Vedi: Lauree triennali

FISICA DELLO STATO SOLIDO I (FIS/03)

L.C. Andreani

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti e fenomeni di base relativi alla fisica dello stato solido.

Prerequisiti

Nozioni di fisica quantistica, elettromagnetismo, ottica, preferibilmente meccanica statistica di base.

Programma

Vengono trattati i concetti fondamentali della fisica dello stato solido, con particolare attenzione ai livelli degli elettroni nei solidi cristallini, alle vibrazioni reticolari, alle proprietà ottiche, alla fisica dei semiconduttori. Gli argomenti comprendono: elettroni liberi nei metalli, teorie di Drude e Sommerfeld; reticoli cristallini e diffrazione, teorema di Bloch, elettroni e lacune; classificazione dei

solidi e legame chimico; bande di energia, metodi di calcolo e di misura, superfici di Fermi, elettroni in campo magnetico; vibrazioni reticolari e fononi; proprietà ottiche degli isolanti e dei semiconduttori, funzione dielettrica complessa, transizioni interbanda; semiconduttori omogenei e inhomogenei, deriva e diffusione, giunzione p-n, celle solari (argomento monografico). La presentazione dei concetti e metodi teorici sarà completata da esempi fenomenologici, dall'illustrazione delle principali tecniche sperimentali per la misura delle quantità fisiche, e da esercitazioni numeriche e computazionali.

Bibliografia

N.W. Ashcroft, N.D. Mermin, *Solid State Physics* (Holt-Rinehart, 1976).

G. Grosso and G. Pastori Parravicini, *Solid State Physics* (Academic Press, 2000; 2nd ed., 2014).

P.Y. Yu, M. Cardona, *Fundamentals of Semiconductors: Physics and Material Properties*, 4rd edition (Springer, 2010).

J. Nelson, *The Physics of Solar Cells* (Imperial College Press, London, 2003).

Modalità di esame

Esame orale. Per la prova di esame si raccomanda di focalizzarsi sugli aspetti fisici degli argomenti trattati (andamenti qualitativi, grafici, metodi per misurare le varie proprietà...) piuttosto che sullo studio dettagliato delle derivazioni matematiche.

FISICA DELLO STATO SOLIDO II (FIS/03)

L.C. Andreani

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti e fenomeni relativi alla fisica dello stato solido avanzato.

Prerequisiti

Nozioni di fisica quantistica, elettromagnetismo, ottica, preferibilmente meccanica statistica di base. Conoscenze di base di fisica dei solidi, come fornite dal corso di Fisica dello Stato Solido I.

Programma

Vengono trattati alcuni concetti avanzati di fisica dello stato solido, con particolare attenzione agli effetti di correlazione, alle eccitazioni elementari nei solidi, alla trattazione quantistica dei sistemi correlati e della superconduttività. Gli argomenti comprendono: (1) metodo Hartree-Fock, effetti di scambio e correlazione, screening; (2) teoria del funzionale densità e metodi moderni per il calcolo delle bande di energia; (3) elettrodinamica nei metalli, teoria della risposta lineare, funzione dielettrica di Lindhard, plasmoni di bulk e di superficie; (4) eccitoni e polaritoni; (5) cristalli fotonici, confinamento elettronico e fotonico, nanocavità; (6) equazione di Boltzmann e coefficienti di trasporto; (7) liquidi di Fermi, correlazioni nei solidi, transizione di Mott, modelli di Hubbard e di Anderson, effetto Kondo; (8) fasi topologiche in materia condensata; (9) fononi nei metalli, interazione effettiva elettrone-elettrone e overscreening, Cooper pairing, teoria quantistica (BCS) della superconduttività. La presentazione dei concetti e metodi teorici sarà completata da esempi fenomenologici, dall'illustrazione delle principali tecniche sperimentali per la misura delle quantità fisiche, da visite ai laboratori di ricerca, e da esercitazioni numeriche e computazionali. I video delle lezioni tenute nell'a.a. 2015/2016 sono disponibili su Kiro.

Bibliografia

N.W. Ashcroft, N.D. Mermin, *Solid State Physics* (Holt-Rinehart, 1976).

G. Grosso and G. Pastori Parravicini, *Solid State Physics*, 2nd edition (Academic Press, 2014).

C. Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, 8th edition (John Wiley & Sons, 2005).

R.M. Martin, *Electronic Structure - Basic Theory and Practical Methods* (Cambridge University Press, 2004).

Note e dispense.

Modalità di esame

Esame orale. Lo studente deve preparare i tre argomenti (1)-(3) e altri tre argomenti a scelta fra (4)-(9). Per la prova di esame, che inizia su un argomento scelto dallo studente, si raccomanda di focalizzarsi sugli aspetti fisici degli argomenti trattati (andamenti qualitativi, grafici, metodi per misurare le varie proprietà...) piuttosto che sullo studio dettagliato delle derivazioni matematiche.

FISICA NUCLEARE I (FIS/04)

C. Giusti

Obiettivi formativi

Apprendimento e approfondimento di alcuni concetti di fisica nucleare.

Prerequisiti

Si richiede una conoscenza di base di meccanica quantistica.

Programma

Viene affrontato il problema dell'interazione nucleare: se ne deducono le caratteristiche essenziali, come la dipendenza dallo spin, la non centralità e l'indipendenza dalla carica elettrica, dalle proprietà del deutone e dello scattering nucleone-nucleone. Si costruisce un potenziale realistico e se ne discute il comportamento a piccole, medie e grandi distanze. Nella parte finale del corso viene data una breve introduzione al problema a molti corpi in fisica nucleare.

Bibliografia

M.A. Preston, R.K. Bhaduri: Structure of the Nucleus, Westview press.

Modalità di esame

Esame orale.

FISICA NUCLEARE II (FIS/04)

M. Radici

Obiettivi formativi

Introduzione alla fenomenologia degli adroni (in particolare il protone, come prototipo di nucleo) secondo il linguaggio dell'interazione forte del Modello Standard: la Cromodinamica quantistica.

Prerequisiti

Si consiglia di frequentare il corso dopo aver seguito gli insegnamenti di Elettrodinamica Quantistica e Teoria Quantistica dei Campi.

Programma

Introduzione alla fenomenologia dell'interazione forte a basse energie: la Cromodinamica Quantistica (QCD) e il problema del confinamento. Gruppi di simmetrie della QCD e spettroscopia dei mesoni e dei barioni. I tableaux di Young; G-parità e i nonetti mesonici; mixing e la regola di OZI. Gruppo SU(3) di colore e il confinamento. Teoria dello scattering leptone-adrone. Scaling delle funzioni di struttura. Modello a partoni e densità partoniche. La relazione di Callan-Gross. Fenomenologia dei processi inelastici (elettrodeboli), sia inclusivi che semi-inclusivi, con o senza polarizzazione. Regole di somma. Superamento del modello a partoni: violazioni dello scaling ed equazioni di Altarelli-Parisi. Cenni all'Operator Product Expansion (OPE); definizione OPE delle densità partoniche. La "spin crisis" e il moto orbitale dei partoni all'interno gli adroni.

Bibliografia

F. Close, "An Introduction to Quarks and Partons" (Academic Press, 1979).

R.K. Bhaduri, "Models of the Nucleon: from Quarks to Soliton" (Addison-Wesley, 1988).

M.E. Peskin, D.V. Schroeder, "An Introduction to Quantum Field Theory" (Addison-Wesley, 1995).

M. Guidry, "Gauge Field Theories- An Introduction with Applications" (John Wiley & Sons, 1991).

R.G. Roberts, "The Structure of the Proton-Deep Inelastic Scattering" (Cambridge Univ. Press, 1990).

C.T.E.Q. Coll., "Handbook of perturbative QCD", <http://www.phys.psu.edu/~cteq#Handbook>.

Materiale didattico a disposizione all'indirizzo:

http://www2.unipv.it/~radici/welcome-it.html#Attività_didattica.

Modalità di esame

Esame orale. La prova consiste nella presentazione e discussione di una relazione di approfondimento su un argomento a scelta del programma.

FISICA QUANTISTICA DELLA COMPUTAZIONE (FIS/03)

C. Macchiavello

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti teorici fondamentali relativi alla fisica quantistica della computazione.

Prerequisiti

La comprensione degli argomenti del corso presuppone la conoscenza dei concetti di base della fisica quantistica, che verranno comunque richiamati all'inizio del corso (agli studenti che non hanno seguito corsi di fisica quantistica verrà indicato materiale di approfondimento sulla materia).

Programma

Il corso riguarda i recenti sviluppi della teoria quantistica della computazione e della comunicazione. I principali argomenti affrontati sono: Cenni alla teoria della complessità computazionale. Reti e porte logiche. Computazione quantistica: porte a qubit singolo e a due qubit. Porte quantistiche universali. Algoritmi quantistici: Deutsch, Deutsch-Jozsa, Simon, Grover, Shor. Introduzione alla teoria quantistica della correzione degli errori. Codifica superdensa e teletrasporto quantistico. Cenni di crittografia classica. Introduzione alla crittografia quantistica. Introduzione alla teoria dell'entanglement. Criteri di separabilità e tecniche di purificazione e rivelazione di entanglement. Entanglement negli algoritmi quantistici. Computazione quantistica unidirezionale.

Bibliografia

I.L. Chuang and M.A. Nielsen, Quantum Information and Quantum Computation, Cambridge University Press (Cambridge UK 2000).

Modalità di esame

L'esame consiste in una prova orale, in cui viene richiesta la conoscenza degli argomenti trattati nel corso.

FONDAMENTI DELLA FISICA (FIS/08)

G. Introzzi

Obiettivi formativi

Sviluppare una consapevolezza critica - fondata sull'analisi d'importanti casi storici - della complessità del processo di formulazione di teorie fisiche, della loro corroborazione sperimentale, della successiva accettazione da parte della comunità scientifica e del loro eventuale superamento a favore di altre teorie.

Prerequisiti

Concetti di Fisica classica e di Fisica quantistica usualmente acquisiti nel corso della laurea triennale in Fisica.

Programma

È delineata l'evoluzione di alcuni concetti della fisica classica dalla meccanica alla termodinamica, ed evidenziato il progressivo indebolimento, nel corso del XIX secolo, del determinismo laplaciano. Viene mostrata la transizione, nell'elettromagnetismo e in meccanica statistica, da modelli continui a discontinui per le cariche e la materia. L'ipotesi dell'esistenza dell'etere è presentata discutendo anche la non crucialità degli esperimenti di Michelson e Morley, mentre il superamento di tale concetto viene connesso alla relatività ristretta einsteiniana.

La fisica dei quanti introduce, all'inizio del XX secolo, una discretizzazione per gli scambi d'energia, ed obbliga ad accettare il dualismo onda/particella per la descrizione dei fenomeni microscopici. Alcuni risultati della fisica quantistica (atomo di Bohr, equazione di Schroedinger, relazioni d'indeterminazione di Heisenberg) vengono ricavati a partire da tale dualismo. Segue la presentazione dell'interpretazione probabilistica di Copenhagen, di quella causale di Bohm, di varie relazioni d'indeterminazione (Fourier, Heisenberg, Kennard, Robertson, Bohm, Puri, Ozawa), della complementarità di Bohr, della dualità di Greenberger/Yasin e di Englert. Le possibili interpretazioni del dilemma onda/particella e l'analisi dell'"entanglement", del gatto di Schroedinger, del paradosso di EPR, delle disuguaglianze di Bell e della decoerenza quantistica concludono il corso.

Bibliografia

Sono disponibili gli appunti delle lezioni.

Modalità di esame

Esame orale. L'esame consiste in due domande. La prima sullo sviluppo storico di teorie scientifiche e sui fattori (interni ed esterni) che ne hanno determinato il successo o il fallimento. La seconda sui fondamenti della meccanica quantistica, e specificamente su uno dei 12 argomenti approfonditi a lezione.

FONDAMENTI DELLA MECCANICA QUANTISTICA (FIS/02)

G.M. D'Ariano

Obiettivi formativi

Apprendimento della struttura matematica e concettuale della teoria quantistica dei sistemi (chiusi e aperti), dei principi della quantum information e computation, e della teoria quantistica dell'ottimizzazione e della stima.

Prerequisiti

Corso di Meccanica Quantistica, e nozioni di base di algebra lineare e metodi matematici.

Programma

La teoria quantistica per sistemi generici (in dimensione finita) viene presentata a partire da semplici postulati matematici, dai quali si deriva la struttura convessa e operativa della teoria, e se ne deducono sei principi fondamentali: causalità, discriminabilità locale, discriminabilità perfetta, atomicità della composizione, purificazione, compressione perfetta. Dai soli principi, senza utilizzare gli spazi di Hilbert, si deducono i teoremi fondamentali della teoria. Tale deduzione viene affiancata alla usuale derivazione che utilizza gli spazi di Hilbert, per un approfondimento concettuale della struttura della teoria. Ciò permette al contempo di introdurre le basi dei capitoli fondamentali della moderna teoria quantistica, ovvero: la teoria quantistica dei sistemi aperti, la teoria quantistica dell'informazione e della computazione, e la teoria quantistica dell'ottimizzazione e della stima. Fra gli argomenti generali trattati si hanno: entanglement di stati ed effetti, operazioni quantistiche e strumenti quantistici, isomorfismo di Choi-Jamiołkowski, teoremi di dilatazione di strumenti e canali quantistici, equazione di Lindblad per evoluzioni Markoviane di sistemi aperti, metriche su stati, effetti, e trasformazioni, teorema del no information without disturbance, stati steering, stati fedeli, struttura causale della teoria e no-signaling, teoremi del no-cloning e del no-programming, teletrasporto, tomografia di processi e stati, teoria della quantum error correction, canali con memoria, POVM ottime e misurazioni congiunte di osservabili incompatibili.

Bibliografia

Giacomo M. D'Ariano, G. Chiribella, P. Perinotti, Quantum Theory from Principles, Cambridge University Press (in press).

M. A. Nielsen, I. L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press, 2000).

Modalità di esame

Esame orale.

FOTONICA (FIS/03)

M. Liscidini

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti e fenomeni di base relativi alla fotonica.

Prerequisiti

Il corso, che si svolge nel primo semestre, non richiede altri prerequisiti oltre a conoscenze di base di elettromagnetismo e di meccanica quantistica. È complementare agli insegnamenti di Ottica, Fisica dei Semiconduttori, Nanostrutture di Semiconduttori, Fisica dei Dispositivi Elettronici a Stato Solido.

Programma

Il corso si propone di illustrare i principi fisici alla base della fotonica, ossia della disciplina che tratta della generazione, propagazione e manipolazione della radiazione elettromagnetica e che presenta numerose applicazioni all'elettronica quantistica e alla comunicazione ottica. Saranno

trattati i seguenti macro-argomenti: (1) Il campo elettromagnetico: propagazione nei mezzi materiali, mezzi periodici, seconda quantizzazione. (2) Propagazione guidata: principi alla base del confinamento di luce in guide d'onda dielettriche e relativi esempi (3) Risuonatori e microcavità: risuonatore Fabry-Pérot, microcavità planari, risonatori ad anello, microcavità tridimensionali. Emissione spontanea in cavità ed effetto Purcell. (4) Interazione radiazione-materia: suscettibilità atomica, emissione spontanea e stimolata, guadagno e saturazione, oscillazioni laser. (5) Ottica nonlineare: effetti legati alle nonlinearità del secondo e terzo ordine.

Bibliografia

A. Yariv, "Quantum electronics", third edition (Wiley, New York, 1989)
A. Yariv and P. Yeh, "Photonics" (Oxford University Press, 2007)
B.E.A. Saleh, M.C. Teich, "Fundamentals of Photonics", second edition (Wiley, 2007)
E. Rosencher, B. Vinter, "Optoelectronics" (Cambridge University Press, 2002)
R. Loudon, "The Quantum Theory of light" (Oxford University Press 2008)
J.D. Joannopoulos, S. G. Johnson, J. N. Winn, and R. D. Meade "Photonic Crystals: Molding the Flow of Light," second edition (Princeton, 2008)

Modalità di esame

Il voto finale viene deciso dopo un esame orale. Le valutazioni riportate negli esercizi svolti a casa saranno considerate a seconda della scelta dello studente, che dovrà comunicarla all'inizio del corso e non prima della consegna del primo set di esercizi. Non sarà possibile cambiare idea dopo la valutazione del quarto elaborato.

GRUPPI E SIMMETRIE FISICHE (FIS/02)

C. Dappiaggi

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti basilari sia della teoria dei gruppi di Lie, incluse le varietà omogenee, sia della teoria delle rappresentazioni su spazi di Hilbert.

Prerequisiti

È richiesta la conoscenza degli strumenti matematici appresi durante i corsi della laurea triennale ed è preferibile che lo studente abbia o stia acquisendo in parallelo conoscenze di geometria differenziale.

Programma

Nella prima parte del corso vengono presentate le proprietà strutturali basilari dei gruppi di Lie, in particolare la correlata nozione di algebra di Lie e la sua interpretazione geometrica. Infine viene introdotta e studiata nel dettaglio la mappa esponenziale. Nella seconda parte del corso, viene introdotto il teorema di Frobenius come strumento per costruire le varietà omogenee a partire dai gruppi di Lie e per studiarne le loro proprietà differenziali. Nella terza parte del corso, si studia la teoria delle rappresentazioni dei gruppi di Lie su spazi di Hilbert con particolare enfasi alle applicazioni in meccanica quantistica e teoria dei campi.

Bibliografia

F. Warner "Foundations of differentiable manifolds and Lie groups" (1990) 3ed. Springer-Verlag.
A. W. Knap "Lie groups: Beyond an introduction" (2005) Birkhäuser
A. O. Barut, R. Raczka "Theory of Group representations and applications" (1986) World Scientific.

Modalità di esame

L'esame consta di una sola prova orale per valutare l'apprendimento degli argomenti trattati a lezione.

INTRODUZIONE ALL'ASTRONOMIA (FIS/05)

Vedi: Lauree triennali

INTRODUZIONE ALLA FISICA DEI SOLIDI (FIS/03)

Vedi: Lauree triennali

LABORATORIO DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE I (FIS/04)

P. Vitulo

Obiettivi formativi

Il corso si propone di formare gli studenti all'uso di alcune tecniche di misura comunemente usate nella fisica sperimentale nucleare e subnucleare attraverso l'utilizzo di moduli elettronici per il trattamento dei segnali provenienti da rivelatori. A questo proposito verranno utilizzati rivelatori a scintillazione sia organici che inorganici, rivelatori a stato solido e possibilmente rivelatori a gas. In un primo momento il segnale dei rivelatori veri e propri verrà simulato tramite generatori di impulsi in modo da calibrare e testare le catene di acquisizione per le varie misure. Successivamente, una volta compreso il funzionamento dei moduli di acquisizione verranno introdotti i rivelatori per effettuare le misure.

Programma di massima:

Definizione operativa di sezione d'urto di un processo, coefficiente di attenuazione lineare, libero cammino medio nei gas, statistica ionizzazione nei gas. Generazione tramite Monte Carlo. Generazione di variabili aleatorie secondo distribuzioni notevoli. Cenni ad aspetti sperimentali di radioprotezione: calcolo della dose assorbita dovuta a radiazione da sorgenti puntiformi. Aspetti sperimentali nella misura dell'efficienza di un rivelatore. Giustificazione dell'uso di rivelatori in coincidenza. Perdita di energia: Formula di Bethe -Bloch e simulazione dell'energia persa da una particella carica. Sviluppo della carica in un rivelatore a gas: primo e secondo coefficiente di Townsend; attachment e coefficiente effettivo di Townsend. Segnale indotto sugli elettrodi di un rivelatore: casi particolari del teorema di Ramo. Applicazione a rivelatori a gas con geometria cilindrica e con geometria piana. Risoluzione temporale di un rivelatore; definizione di Jitter e Time Walk temporale di un segnale di un rivelatore.

Alcune misure saranno:

Linee di trasmissione e disadattamento di impedenza. Misura di impedenza della linea. Misura delle coincidenze spurie tra due generatori in funzione della finestra di formazione temporale. Moduli di discriminazione, logiche, contatori, Multichannel Analyzer, Time to Amplitude Converter. Tecniche di coincidenza per la misura dell'attività assoluta di una sorgente radioattiva. Misura del coefficiente lineare di attenuazione per gamma in diversi materiali, misura del build-up. Misura dell'efficienza di uno scintillatore in funzione della tensione. Curva caratteristica di un fotomoltiplicatore, conteggi in coincidenza. Punto di lavoro di uno scintillatore organico.

Misura dello spettro differenziale di altezza di impulso di uno scintillatore inorganico NaI(Tl) sottoposto a radiazione gamma. Calibrazione energetica di un multicanale e spettri energetici con sorgenti di ^{22}Na e ^{137}Cs

Per tutte queste misure ne verranno discussi gli aspetti sperimentali e le varie problematiche.

Bibliografia

G.F. Knoll, Radiation detection and measurements; Wiley, (New York 2003).
W.R. Leo, Techniques for nuclear and Particle Physics experiments (Springer, 1994).
W. Blum, L. Rolandi, Particle detection with drift chambers (Springer, 1994).
Dispense del docente.

Modalità di esame

L'esame potrà essere orale oppure consisterà nell'esecuzione di una misura sperimentale con la strumentazione utilizzata durante il corso. Pur non essendo un insegnamento English-friendly l'esame potrà essere sostenuto in lingua inglese, su richiesta dello studente.

LABORATORIO DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE II (FIS/04)

A. Menegolli, A Fontana

Obiettivi formativi

Il corso si propone di fornire conoscenze sulla fisica del vuoto e di alcuni tipi di rivelatori, sia dal punto di vista teorico che da quello pratico, attraverso esperienze di laboratorio.

Prerequisiti

Nozioni di base di elettromagnetismo, di fisica quantistica e di programmazione. Consigliata la

frequenza del corso di Laboratorio di Fisica Nucleare e Sub-Nucleare I.

Programma

Il modulo sulla Fisica del vuoto (3 CFU) inizia con alcune lezioni frontali in cui vengono richiamati i fondamenti di teoria cinetica dei gas in diversi regimi di flusso (viscoso e molecolare) e in cui vengono descritte le principali caratteristiche dei sistemi da vuoto ideali e reali. Nel corso si richiamano brevemente anche i principi di funzionamento dei più comuni tipi di pompe e di sensori da vuoto.

Successivamente il laboratorio prevede lo svolgimento di alcune esperienze sui seguenti argomenti:

- misura della velocità di pompaggio in regime viscoso;
- misura della velocità di pompaggio in regime molecolare;
- calcolo e misura di conduttanze (legge di Ohm del vuoto);
- misure di degasamento (con bake-out);
- studio della composizione del gas residuo con Residual Gas Analyzer;
- analisi e interpretazione dei dati RGA.

Durante lo svolgimento delle attività saranno utilizzati anche i codici LabVIEW per l'acquisizione dati e ROOT per l'analisi.

Il secondo modulo (3 CFU) è dedicata a lezioni frontali riguardanti rivelatori a scintillazione: caratteristiche generali, legge di riemissione, scintillatori organici e inorganici. Foto-moltiplicatori (PMT): caratteristiche generali, foto-catodo, finestra, focalizzazione, moltiplicazione, guadagno, partitori, forma dell'impulso, risposta temporale, risoluzione energetica, corrente di buio. Altri dispositivi di foto-rivelazione: fotodiodi, APD, Silicon PM. Rivelatori TPC a liquidi di gas nobile per la fisica degli eventi rari.

Il laboratorio prevede lo svolgimento di alcune esperienze sui seguenti argomenti:

- caratterizzazione di due PMT XP2020: corrente di buio, misura del guadagno e degli intertempi di rumore;
- studio della distribuzione di raggi cosmici in funzione dell'angolo zenitale;
- misura della vita media del muone a riposo.

Bibliografia

B. Ferrario, "Introduzione alla tecnologia del vuoto", Patròn, 1999.

W.R. Leo "Techniques for nuclear and particle physics experiments", Springer-Verlag, 1994.

G.F. Knoll "Radiation Detection and measurement", John Wiley & Sons, 2000.

Trasparenze delle lezioni.

Modalità d'esame

Esame orale sugli argomenti trattati nelle lezioni frontali. Discussione della tesi riguardante le misure di laboratorio. Realizzazione di una delle esperienze di laboratorio.

LABORATORIO DI FISICA QUANTISTICA I (FIS/01)

M. Galli

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti di base di alcune fra le principali metodologie di fisica sperimentale mediante la realizzazione di alcuni esperimenti fondamentali di fisica quantistica della materia.

Prerequisiti

Nozioni di fisica quantistica, elettromagnetismo, ottica.

Programma

Realizzazione di alcuni esperimenti fondamentali nel campo della fisica atomica e della Struttura della materia. 1) Atomo di idrogeno: studio della serie di Balmer, verifica della validità dell'ipotesi di Bohr e determinazione della costante di Rydberg. Misura dello splitting isotopico e determinazione del rapporto di massa idrogeno/deuterio. Misura dei livelli di energia di orto-elio e para-elio. 2) Effetto Zeeman: studio dello splitting in campo magnetico del doppietto del Sodio e della riga rossa del Cadmio e misura del magnetone di Bohr. 3) Propagazione di un fascio laser in un cristallo di rubino: studio del fenomeno di oscillazione coerente di popolazione e misura della velocità di propagazione della luce in regime di "ultra-slow light" ($v=10$ m/s). 4) Stati non-classici della radiazione

elettromagnetica: generazione di coppie di fotoni per conversione parametrica spontanea in un cristallo nonlineare, misura delle coincidenze temporali mediante rivelatori a singolo fotone.

Gli strumenti didattici utilizzati sono la lezione frontale e il laboratorio. Ognuno degli esperimenti proposti è preceduto dalla spiegazione dei concetti teorici di base, delle tecniche sperimentali adottate e della rilevanza scientifica e applicativa dell'esperimento. In seguito lo studente è condotto passo-passo nella realizzazione degli esperimenti, ponendo particolare attenzione all'analisi critica del dato sperimentale ottenuto e alla sua contestualizzazione nell'ambito del modello teorico adottato.

Bibliografia

Appunti del corso

A. C. Mellissinos and J. Napolitano, "Experiments in Modern Physics", Second Edition 2003, Academic press.

Bahaa E. A. Saleh, Malvin Carl Teich, "Fundamentals of Photonics", 2nd edition, Wiley.

R. Loudon, "The Quantum Theory of light", Oxford University Press (2008).

Modalità di esame

Al termine del corso è richiesta la stesura di una relazione scientifica su ognuna delle esperienze eseguite. All'esame è richiesta l'esposizione orale di una relazione scientifica a scelta, con particolare riferimento ai concetti teorici di base e alle metodologie sperimentali adottate.

LABORATORIO DI RADIAZIONI IONIZZANTI (FIS/04)

A. de Bari

Obiettivi formativi

Apprendimento dell'utilizzo pratico dei rivelatori a scintillazione, rivelatori a stato solido (HPGe) e strumentazione utilizzata in fisica sanitaria.

Prerequisiti

Nozioni di interazione della radiazione con la materia, elettronica, statistica e analisi dei dati.

Programma

Esperienze di laboratorio proposte:

- Montaggio catena NaI(Tl).
- Calibrazione in energia di una catena NaI(Tl).
- Analisi di spettri gamma.
- Identificazione di radionuclidi mediante spettrometria gamma.
- Risoluzione in energia di un NaI(Tl).
- Misura dell'attività di radionuclidi.
- Misura coefficiente di assorbimento massico di Pb e Al utilizzando fotoni gamma.
- Misura contaminazione superficiale.
- Calibrazione in efficienza di un HPGe.
- Attivazione neutronica e analisi dei campioni attivati.
- Misura della concentrazione del radon.
- Caratterizzazione di un SiPM array.

Ogni esperienza sarà preceduta da lezioni introduttive.

Bibliografia

William R. Leo, ***Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments: A How-To Approach*** (Springer-Verlag, 2nd revised edition, 1994).

Modalità di esame

Esame orale e pratico basato sulle esperienze di laboratorio e sul quaderno di laboratorio. Ogni studente mantiene e aggiorna il proprio quaderno di laboratorio.

LABORATORIO DI STRUMENTAZIONI FISICHE (FIS/01)

F. Marabelli

Obiettivi formativi

Apprendimento delle modalità di utilizzo delle principali tecniche sperimentali e strumentazioni relative alla criogenia, alla spettroscopia ottica e alle tecniche di abbattimento del rumore di misura.

Prerequisiti

Nozioni di fisica dei materiali, elettromagnetismo, ottica.

Programma

Lo scopo del corso è fornire le nozioni di base e i criteri di utilizzo di diverse tecniche e strumentazioni comuni nei laboratori di ricerca, discutendone vantaggi e limiti di utilizzo.

In particolare si considerano: l'acquisizione, il trattamento e la conversione di segnali, le tecniche di abbattimento del rumore e il lock-in, le trasformate di Fourier e loro utilizzo pratico, la misura della temperatura e la criogenia, le tecniche di vuoto, le tecniche base di spettroscopia ottica e la strumentazione relativa, sorgenti e detettori.

Il corso si svolgerà presso il laboratorio dedicato articolandosi in lezioni introduttive ai diversi argomenti, seguite da esercitazioni pratiche sugli strumenti ed esperimenti illustrativi.

Bibliografia

Experimental Physics, Modern Methods, R.A. Dunlap, Orford University Press, 1988, ISBN 0-19-504949-7.

Modalità di esame

Esame orale. La prova parte da una relazione specifica a scelta dello studente su una delle esperienze svolte per estendersi ai concetti generali illustrati nel corso.

MATEMATICHE COMPLEMENTARI (MAT/04)

M. Maracci

Obiettivi formativi

Il corso si propone lo studio di temi tratti da diversi ambiti della matematica (aritmetica, geometria, probabilità e analisi) scelti per il loro interesse culturale e le loro possibili connessioni con i temi oggetto di insegnamento nella scuola. L'obiettivo è quello di fornire, più in generale, strumenti per una riflessione critica su temi di matematica anche in una prospettiva didattica.

Prerequisiti

Conoscenze di base e competenze fornite dalla scuola secondaria di secondo grado e dai corsi di base della laurea triennale in Matematica, in particolare per quanto riguarda: aritmetica, elementi di geometria del piano e dello spazio dal punto di vista sintetico, numeri reali, funzioni reali in una variabile reale, probabilità elementare.

Programma

Sistemi di numerazione. Trasformazioni geometriche del piano e dello spazio dal punto di vista sintetico. Introduzione a numeri iperreali e analisi non-standard. Diversi approcci alla probabilità: classico, frequentista e soggettivo.

Bibliografia

Capelo, A.-C.; Ferrari, M. e Padovan, G. I sistemi di numerazione. CNR Quaderno n.7, Pavia, 1990.

Dedò, M. Trasformazioni geometriche. Decibel, Zanichelli, Bologna, 1996.

Kiesler, H.J. Foundations of infinitesimal calculus, 2007.

Materiale messo a disposizione dal docente

Modalità di esame

Il raggiungimento degli obiettivi formativi verrà accertato tramite una prova scritta, con problemi e domande aperte, e una prova orale. Le prove intendono verificare la conoscenza dei contenuti trattati nel corso e la capacità di rielaborazione autonoma di tali contenuti.

MECCANICA STATISTICA (FIS/02)

Vedi: Lauree triennali

METODI COMPUTAZIONALI DELLA FISICA (FIS/02)

F. Piccinini

Obiettivi formativi

Apprendimento dei principali algoritmi utilizzati nella soluzione numerica di problemi di fisica classica e quantistica. Un obiettivo importante del corso è anche quello di sviluppare la forma mentis necessaria ad affrontare un problema numericamente. Per questo motivo tutti gli algoritmi vengono illustrati sia teoricamente che mediante il loro utilizzo pratico nello svolgimento di problemi di fisica.

Programma

- Metodi numerici di base: interpolazione, approssimazione, differenziazione, integrazione, ricerca di zeri ed estremi, generatori di numeri casuali
- Equazioni differenziali ordinarie
- Algebra lineare: operazioni elementari con matrici, sistemi lineari, equazioni agli autovalori
- Metodi di Monte Carlo per l'integrazione numerica e, più in generale, come metodi di simulazione
- Equazioni differenziali alle derivate parziali
- Metodi spettrali (analisi di Fourier).

Bibliografia

W.H. Press, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, B.P. Flannery, Numerical Recipes, Cambridge University Press.

S.S.M. Wong, Computational Methods in Physics and Engineering, World Scientific.

P.L. De Vries, A first Course in Computational Physics, John Wiley & Sons, Inc.

Modalità di esame

Esame orale

METODI MATEMATICI DELLA FISICA TEORICA (FIS/02)

P. Perinotti

Obiettivi formativi

Una introduzione ai metodi della geometria differenziale utilizzati nella fisica teorica. Esempi e case studies focalizzati allo sviluppo della comprensione e delle metodologie usate nella relatività generale, nelle teorie di gauge e nella teoria quantistica dei campi.

Prerequisiti

I corsi introduttivi di metodi matematici (o equivalenti).

Programma

Varietà differenziabili, fibrati vettoriali su varietà differenziabili, fibrati principali. Campi vettoriali su varietà, flusso di un campo vettoriale, derivata di Lie. Connessioni lineari su un fibrato vettoriale. Connessioni come 1-forme a valori nell'algebra di Lie di un gruppo. Trasporto parallelo. Mappa esponenziale. Curvatura e ologonomia di una connessione. Identità di Bianchi e loro significato geometrico. Tensore di curvatura. Metrica su una varietà e compatibilità fra metrica e connessione. Connessioni e campi di Yang-Mills. Invarianza di Gauge. Equazioni di Yang-Mills e loro deduzione variazionale. L'esempio del campo elettromagnetico. Connessioni lineari sul fibrato tangente e connessioni di Levi-Civita. Curve geodetiche e loro proprietà. Tensore di Ricci di una connessione. Simmetrie e vettori di Killing. Analisi geometrica. Operatori differenziali su varietà e equazioni alle derivate parziali di origine geometrica. Spazi di Banach di sezioni di un fibrato. Norme L^p e spazi di Sobolev. Operatori ellittici, parabolici, e iperbolici. Esempi e applicazioni. Teorema spettrale su varietà. Lo spettro dell'operatore di Laplace-Beltrami su varietà compatte. Applicazione al calcolo dei Determinanti funzionali e funzioni di partizione in teoria quantistica dei campi e meccanica statistica.

Bibliografia

Manfredo do Carmo, Riemannian Geometry, Birkhauser Boston.

Y. Choquet-Bruhat, C. DeWitt-Morette, Analysis, Manifolds and Physics, North-Holland.

J. Jost, Riemannian Geometry and Geometric analysis, Springer.

Modalità di esame
Esame orale

METODI STATISTICI DELLA FISICA (FIS/01)

P. Pedroni

Obiettivi formativi

Apprendimento dei principali metodi utilizzati in tutti i vari settori della fisica per l'interpretazione, la simulazione e la previsione di dati sperimentali.

Prerequisiti

Nozioni di base di nozioni di base di statistica e di calcolo delle probabilità.

Programma

Gli argomenti trattati comprendono: Calcolo delle probabilità per più variabili e funzioni di variabili casuali; statistica di base (intervalli di confidenza; stima di probabilità, di medie, di varianze e di coefficienti di correlazione); trattazione dettagliata del metodo Monte Carlo: con descrizione sia dei suoi principi di base sia di alcune applicazioni significative; Principio di massima verosimiglianza applicato alla stima di parametri ed alla verifica di ipotesi; metodo dei minimi quadrati e sua applicazione ai casi concreti di "best fit".

Bibliografia

A. Rotondi, P. Pedroni, A. Pievatolo, Probabilità, Statistica e Simulazione (Springer 2012).

A. Papoulis, Probability and Statistics, (Prentice Hal 1990).

G. Cowan, Statistical Data analysis, (Oxford University Press 2002).

Modalità di esame

Esame orale. Per la prova di esame si raccomanda di focalizzarsi sugli aspetti concettuali e logici degli argomenti trattati e non sullo studio dettagliato delle derivazioni matematiche.

NANOSTRUTTURE DI SEMICONDUTTORI (FIS/03)

D. Gerace

Obiettivi formativi

Il corso si propone di fornire una preparazione di base sui concetti e fenomeni relativi alla fisica delle nanostrutture di semiconduttori per il confinamento quantico di elettroni e lacune. Vengono trattati in dettaglio i sistemi a bassa dimensionalità ottenuti a partire dalle moderne tecniche di crescita epitassiale. Inoltre, il corso è mirato a fornire una panoramica sulle più recenti applicazioni dei sistemi nanostrutturati, quali laser e dispositivi emettitori di luce, e transistor a singolo elettrone. Gli obiettivi formativi principali possono essere così riassunti:

1 - conoscenza delle principali tecniche di crescita e nanofabbricazione di materiali semiconduttori, degli aspetti teorici di base relativi alla modifica delle proprietà ottiche e di trasporto in funzione della dimensionalità, e delle principali tecniche sperimentali volte a caratterizzare la fisica delle nanostrutture di semiconduttori;

2 - applicazione dei concetti acquisiti, ad esempio nella risoluzione di problemi pratici nell'ambito della fisica delle nanostrutture; essere in grado di confrontare le diverse nanostrutture sulla base di andamenti qualitativi delle principali proprietà ottiche e di trasporto;

3 - essere in grado di leggere, capire, e comunicare i risultati principali di articoli di ricerca recente.

Alla fine del corso, viene organizzata una sessione di 'suggested reading', in cui gli studenti presentano i risultati di almeno un articolo scientifico da loro selezionato tra una rosa di lavori proposti dal docente, e riguardanti sviluppi di ricerca recente in fisica delle nanostrutture.

Prerequisiti

Il corso tratta argomenti di natura interdisciplinare sia in fisica della materia che teorica, e pertanto si richiede la conoscenza delle nozioni di base di elettromagnetismo, ottica, fisica quantistica, struttura della materia, e fisica dei solidi, a livello della laurea triennale in Fisica. Pertanto, il corso si rivolge preferenzialmente a studenti della Laurea Magistrale in Scienze Fisiche, e può eventualmente essere mutuato come corso di Dottorato.

Dal momento che il corso si svolge nel secondo semestre, si richiede preferibilmente la frequenza di 'Fisica dello Stato Solido I', tenuto durante il primo semestre, come corso propedeutico.

Programma

Il corso tratta la fisica e le applicazioni principali delle nanostrutture di materiali semiconduttori, ossia i sistemi a bassa dimensionalità che danno origine a fenomeni di confinamento quantico in una, due o tre dimensioni per gli elettroni (e le lacune).

Vengono trattati i seguenti argomenti:

- Richiamo sui concetti base della fisica dei semiconduttori. Calcoli a principi primi e discontinuità di banda.
- Eterostrutture, metodo della funzione involuppo.
- Sistemi bidimensionali: buche quantiche, superreticoli, etero-interfacce.
- Proprietà ottiche. Assorbimento ed emissione, transizioni interbanda e intersottobanda in buche quantiche, laser a semiconduttore. Eccitoni e polaritoni confinati.
- Proprietà di trasporto. Tunneling e resistività differenziale negativa, diodo a effetto tunnel, doppia barriera. Effetti di campi elettrici e magnetici. Effetto Hall quantistico, intero e frazionario.
- Sistemi mono- e zero-dimensionali: quantum wires e quantum dots, livelli elettronici, proprietà di trasporto e proprietà ottiche, effetti di correlazione.
- Cenni ai sistemi a confinamento fotonico (microcavità di semiconduttore e cristalli fotonici). Elettrodinamica quantistica in cavità, modello di Jaynes-Cummings.

Bibliografia

L.C. Andreani, Dispense del corso (1998/1999).

P.Y. Yu, M. Cardona, Fundamentals of Semiconductors: Physics and Material Properties, 3rd edition (Springer, 2005).

J.H. Davies, The Physics of Low-dimensional Semiconductors: An Introduction (Cambridge University Press, 1998).

Modalità di esame

Il corso prevede una verifica dell'apprendimento e dell'acquisizione degli obiettivi formativi mediante un colloquio orale. La valutazione del colloquio è in trentesimi. Il colloquio orale verte su almeno tre degli argomenti trattati nel corso, e lo studente ha facoltà di iniziare la discussione partendo da un argomento a sua scelta, o un approfondimento dello stesso. La durata complessiva del colloquio è in genere compresa tra 45 e 60 minuti, circa. La valutazione finale è il risultato delle valutazioni sui singoli argomenti trattati durante il colloquio. Nella valutazione della prova di esame, viene richiesto allo studente di focalizzarsi sugli aspetti fisici degli argomenti trattati (andamenti qualitativi, grafici, metodi per misurare le varie proprietà) piuttosto che sullo studio dettagliato delle derivazioni matematiche.

OTTICA (FIS/01)

Vedi: Lauree triennali

OTTICA QUANTISTICA (FIS/03)

L. Maccone

Obiettivi formativi

Acquisizione di "intuizione fisica" riguardo alla meccanica quantistica tramite l'ottica quantistica; teoria dell'ottica quantistica; preparazione alla ricerca (working knowledge): tecniche di calcolo e di simulazione, analisi e descrizione matematica di devices sperimentali, teoria della stima.

Prerequisiti

Meccanica quantistica (corso triennale) e fondamenti di elettromagnetismo (Fisica 2). Le prime lezioni del corso saranno dedicate ad un ripasso di tutte le nozioni necessarie.

Programma

- Ripasso di meccanica quantistica (per fissare la notazione e il sistema formale), ripasso di elettromagnetismo classico.
- Quantizzazione del campo elettromagnetico libero e interazione radiazione-materia dall'Hamiltoniana di minimal coupling.

- Metodi algebrici per la meccanica quantistica.
- Stati quantistici della radiazione.
- Interferenza e sovrapposizione quantistica (si analizzeranno vari esperimenti tipici di ottica quantistica).
- Sistemi quantistici aperti (Master equations e CP-maps).
- Teoria della rivelazione in ottica quantistica.

Bibliografia

Scully, Zubairy, "Quantum Optics", Cambridge University Press;
 Gerry, Knight, "Introductory Quantum Optics", Cambridge University Press;
 Per approfondimenti: Mandel, Wolf, "Optical Coherence and Quantum Optics", Cambridge University Press.

(Tutti i libri consigliati sono presenti nella biblioteca del dipartimento)

Modalità di esame

Esame orale. Si prega di contattare il docente per fissare la data dell'esame.

PREPARAZIONE DI ESPERIENZE DIDATTICHE (FIS/08)

Vedi: Lauree triennali

PROCEDIMENTI INFORMATICI DI SIMULAZIONE (FIS/01)

A. Rimoldi

Obiettivi formativi

Programmazione object oriented applicata alla fisica dei rivelatori di particelle.

Prerequisiti

Conoscenza di base dei linguaggi object-oriented C++ e C

Programma

Scopo del corso è fornire una solida conoscenza di base per la programmazione simulata di grandi sistemi utilizzando metodologie Object Oriented. Maggiore enfasi è posta all'analisi, al design e all'implementazione del software di simulazione di un esperimento di fisica fondamentale. Il linguaggio di programmazione utilizzato è il C++ e le tecniche di analisi e design si basano sulla metodologia dello Unified Modeling Language. All'inizio del corso vengono rapidamente richiamate le nozioni base dei linguaggi C/C++/HTML/Java. Il corpo centrale del corso consta nell'introduzione, nello studio e nell'applicazione dei concetti fondamentali della simulazione fisica di un esperimento o di un apparato. Il tool utilizzato è GEANT4 e un'ampia trattazione in forma di seminari a soggetto (fisica, geometria, processi fisici, visualizzazione) ne fa corpo a se stante. Gli esempi spaziano dalla fisica delle particelle elementari, alla fisica medica, all'astrofisica e sono commentati a lezione. Nuove implementazioni in vari campi vengono suggerite in relazione alle propensioni singole dello studente e ai campi di interesse. Un ciclo di seminari compendia il corso: gli esercizi (scritti in linguaggio C++) sono eseguiti su PC in laboratorio o personale (installazione Linux richiesta) e riguardano argomenti di interesse del singolo studente nel campo di attività che lo vede attivo per la laurea specialistica per la realizzazione di un setup sperimentale simulato.

Bibliografia

Koenig, Moo, Accelerated C++, Addison Wesley.

Adele Rimoldi, Metodi informatici della fisica, Pavia University Press.

Adele Rimoldi, La simulazione dei rivelatori di particelle, Pavia University Press, Didattica e Formazione.

Modalità di esame

Esame Orale

Allo studente viene richiesta la realizzazione di un progetto personale atto ad applicare le nozioni di programmazione apprese.

RADIOATTIVITÀ I (FIS/04)

P. Salvini

Obiettivi formativi

Comprensione dei fenomeni radioattivi, dei rischi ad essi connessi e delle possibili applicazioni tecnologiche.

Prerequisiti

Conoscenze di meccanica quantistica (funzione d'onda, probabilità di transizione, effetto tunnel), fisica nucleare (composizione del nucleo) e struttura della materia (descrizione dell'atomo).

Programma

Legge del decadimento radioattivo, Famiglie radioattive, Radioattività Naturale, Interazione Radiazione-Materia, Effetti biologici delle radiazioni, Radon, Incidenti nucleari (seminario al LENA), radiodatazione, misure di concentrazione mediante metodo di attivazione (laboratorio al LENA), decadimento gamma, decadimento alfa, decadimenti esotici, decadimento beta, misura della massa del neutrino.

Bibliografia

G. Bendiscioli "Fenomeni Radioattivi" Ed. Springer.

Eventuali approfondimenti su specifici argomenti:

W.R. Leo "Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments: A How to Approach" Ed. Springer.

Modalità di esame

Esame orale

RADIOATTIVITÀ II (FIS/04)

A. Fontana, A. Menegolli

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti e fenomeni relativi alla fisica delle interazioni deboli e del neutrino.

Prerequisiti

Nozioni di fisica nucleare e subnucleare, radioattività, elettromagnetismo e meccanica quantistica.

Programma

Il corso si sviluppa a partire dallo studio della fenomenologia dell'interazione debole (violazione della parità, elicità di neutrino ed elettrone, distribuzioni angolari) e del formalismo teorico utilizzato per la sua descrizione (teoria di Dirac e teoria V-A). I temi trattati riguardano successivamente tre ambiti di ricerca connessi con il decadimento beta e con la fisica del neutrino:

- nucleosintesi sulle stelle, in particolare sul sole: problema dei neutrini solari, evoluzione stellare, processi r, s e p, supernovae, età dell'Universo;
- doppio decadimento beta: neutrini massivi, neutrini di Dirac e di Majorana, doppio decadimento beta con e senza emissione di neutrini, esperimenti e risultati sperimentali;
- oscillazioni di neutrino: formalismo teorico ed esperimenti ideali, neutrini da acceleratore, da reattore, atmosferici e solari, esperimenti e risultati sperimentali.

Bibliografia

G. Bendiscioli, Fenomeni Radioattivi: dai nuclei alle stelle, Springer 2013 (II Edizione).

Modalità di esame

Colloquio orale con possibilità di seminario su approfondimenti di un argomento trattato a lezione.

RADIOBIOLOGIA (MED/36)

A. Ottolenghi

Obiettivi formativi

Obiettivo generale del corso è quello di fornire agli studenti una introduzione ai principi fondamentali della radiobiologia e della biofisica delle radiazioni (dalle interazioni fisiche, al danno iniziale e alla sua evoluzione temporale) e su come un sistema biologico complesso possa reagire alla

perturbazione indotta dalle radiazioni ionizzanti. Alla fine del corso gli studenti debbono essere in grado di usare i principi base per il disegno di attività di ricerca in radiobiologia (integrando approcci teorici e sperimentali) e di contribuire a ricerche applicate per la stima del rischio e per l'ottimizzazione dell'uso delle radiazioni in medicina.

Prerequisiti

Conoscenze di base di biologia (DNA e strutture cellulari) e sulle interazioni radiazioni ionizzanti - materia.

Programma

Saranno introdotti i meccanismi relativi agli effetti fisici, chimici e biologici delle radiazioni ionizzanti, a livello sub-cellulare, cellulare e di organismo (compresi i rischi di cancro e altre patologie, particolarmente a basse dosi). Dopo una descrizione della fase fisica delle interazioni radiazioni - strutture biologiche, verrà analizzata l'evoluzione temporale del danno, includendo gli effetti a livello chimico (chimica delle radiazioni in acqua, soluzioni con DNA, ecc.) e biologico (come il danno al DNA in un ambiente cellulare e processi di riparo). Sarà analizzata l'evoluzione del danno e del riparo di vari endpoint radiobiologici ed in particolare il loro ruolo nello sviluppo di patologie indotte da radiazioni. Ciò comprenderà: le aberrazioni cromosomiche e il loro impatto a livello di tessuto, la loro persistenza e il loro ruolo nella dosimetria biologica; le forme di morte cellulare, l'inattivazione della funzione proliferativa; la perturbazione della segnalazione intra- e inter-cellulare; gli effetti "non-targeted" (bystander, instabilità genomica, risposta adattativa, ecc.). Particolare attenzione verrà data alla dipendenza dalla qualità della radiazione.

Verranno introdotti e confrontati diversi approcci per la modellizzazione degli effetti radiobiologici: stocastici (ad es.: Monte Carlo) versus deterministici (ad es. basati su equazioni differenziali); discreti versus continui; macroscopici versus microscopici; predittivi versus esplorativi, ecc.. La radiazione verrà studiata come una perturbazione di un sistema (biologico) complesso; un approccio multiscale caratterizzerà il corso e saranno introdotti la systems radiation biology e i suoi metodi.

Le applicazioni saranno dedicate in particolare alla stima del rischio da basse dosi e alla radiobiologia clinica per l'ottimizzazione in campo medico (come in radiologia e nelle tecniche attuali ed emergenti in radioterapia).

È prevista anche una parte di laboratorio, presso il laboratorio di Radiation Biophysics and Radiobiology del Dipartimento di Fisica.

Bibliografia

D. Alloni, L. Mariotti and A. Ottolenghi. Chapter 1 - Early events leading to radiation induced biological effects. In: Radiation Biology and Radiation Safety, Radiation Biology, J Hendry ed., Vol 8 of the Comprehensive Biomedical Physics series. Elsevier. In press, (2014).

Eric J. Hall, Amato J. Giaccia, Radiobiology for the Radiologist

Articoli vari di review

Trasparenze fornite agli studenti

Modalità di esame

Esame orale

RELATIVITÀ GENERALE (FIS/02)

M. Carfora

Obiettivi formativi

Una esposizione avanzata della teoria della Relatività Generale e delle sue applicazioni.

Prerequisiti

Corso di Elettrodinamica e relatività o corso equivalente di introduzione alla relatività speciale.

Programma

Introduzione alla fisica del campo gravitazionale. Principio di equivalenza debole e principio di equivalenza. Campo gravitazionale e geometria dello spaziotempo. Le equazioni di Einstein. Deduzione variazionale delle equazioni di Einstein. La teoria di Einstein linearizzata. Limite Newtoniano della teoria. Teoria linearizzata e onde gravitazionali. La soluzione di Schwarzschild: deduzione e sue proprietà. Moto di particelle nello spaziotempo di Schwarzschild. Precessione del perielio di Mercurio. Deflessione dei raggi luminosi. Raggio di Schwarzschild. Singolarità reali e

apparenti. Estensioni massimale di una soluzione. Lo spaziotempo di Rindler. Orizzonte degli eventi. Estensione massimale di Kruskal. Orizzonte degli eventi e Black Holes. Compattificazione conforme e diagrammi di Penrose. Proprietà causali di uno spaziotempo asintoticamente piatto e definizione di Black Hole. La soluzione di Kerr e le sue proprietà. Ergosfera e superradianza. Dinamica dei black holes. La relatività generale come sistema dinamico. Formalismo di Arnowitt-Deser-Misner. I vincoli Einsteniani e evoluzione iperbolica. Massa e quadri-impulso di un sistema isolato. Problemi aperti in relatività generale. Cosmologia relativistica. Equazioni di Friedmann e modelli cosmologici.

Bibliografia

Robert M. Wald, General Relativity, The University of Chicago Press

Modalità di esame

Esame orale

RIVELATORI DI PARTICELLE (FIS/01)

M. Livan

Obiettivi formativi

Comprensione dei processi di interazione radiazione-materia e dei principi fisici su cui si basa la rivelazione delle radiazioni

Prerequisiti

Concetti base di Elettromagnetismo, meccanica quantistica e statistica

Programma

Dopo una introduzione alla radioattività ed alle sorgenti radioattive, si passa allo studio dei processi di interazione radiazione-materia per particelle cariche e neutre. Vengono poi descritte le caratteristiche principali dei rivelatori per passare successivamente allo studio dei meccanismi fisici di funzionamento delle due classi principali di rivelatori: i rivelatori a ionizzazione e quelli a scintillazione. Si passa quindi alla descrizione di sistemi di rivelazione quali l'identificazione di particelle e, in notevole dettaglio, la calorimetria elettromagnetica ed adronica.

Bibliografia

W.R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments. Springer-Verlag

K. Kleinknecht, Detectors for particle radiation.

G. Gaudio, M. Livan, R. Wigmans The art of Calorimetry. Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi", Course CLXXV "radiation and Particle Detectors" (IOS Amsterdam; SIF, Bologna).

Modalità di esame

Esame orale. L'attenzione verrà posta principalmente sulla fisica della rivelazione di radiazioni e sulla capacità dello studente di riconoscere quale sia la strumentazione più adatta per lo studio di un determinato processo fisico.

SIMULAZIONE IN CAMPO BIOSANITARIO (FIS/07)

S. Bortolussi, F. Ballarini

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti e dei metodi fondamentali delle tecniche di simulazione dell'interazione radiazione-materia. Apprendimento delle basi di un codice di trasporto. Apprendimento degli aspetti principali della modellizzazione degli effetti biologici radioindotti.

Prerequisiti

Nozioni di fisica nucleare, metodo Monte Carlo, interazione radiazione-materia.

Programma

La prima parte del corso è dedicata a una panoramica dei codici di trasporto per particelle cariche e neutre. In particolare ci si sofferma sul codice di simulazione MCNP, che trasporta neutroni, fotoni ed elettroni, e anche particelle cariche nelle sue ultime versioni. Le lezioni sono di tipo teorico, per introdurre i concetti di base e la sintassi del codice, e soprattutto pratiche, in cui gli studenti impareranno a creare un file di input e a simulare problemi di trasporto. Al termine di questa prima

parte del corso gli studenti saranno utenti base di MNCP e avranno acquisito le capacità per creare le geometrie, descrivere la fisica, fare delle richieste al programma, leggere l'output e analizzare statisticamente i risultati. La seconda parte del corso è dedicata alla modellizzazione e simulazione degli effetti biologici indotti dalle radiazioni ionizzanti a livello subcellulare/cellulare e a livello di tessuti e organi. L'attenzione è focalizzata sulle aberrazioni cromosomiche e sulle loro conseguenze in termini di morte cellulare o conversione della cellula in cellula tumorale, nonché sulla modellizzazione di tali effetti a livello di interi tessuti e organi, con esempi di applicazione all'adroterapia e alla radioprotezione nello spazio. Agli studenti saranno inoltre offerti dei seminari finalizzati a fornire una panoramica delle caratteristiche dei codici di simulazione FLUKA e GEANT-4, e delle loro applicazioni in campo bio-sanitario.

Bibliografia

Dispense del corso

Manuali di MNCP, FLUKA, GEANT 4

E. Alpen, Radiation Biophysics, Elsevier

Modalità d'esame

Esame sia pratico, sia orale. L'esame pratico consisterà nello svolgimento e discussione di un esercizio di simulazione MCNP, mentre la prova orale riguarderà la parte di modellizzazione del danno biologico da radiazioni. Si richiede che lo studente abbia sviluppato la capacità di affrontare un problema di trasporto, organizzando la costruzione dell'input e trovando soluzioni pratiche perché la simulazione converga. Si richiede inoltre che lo studente abbia compreso i principi della modellizzazione dell'interazione radiazione-materia a livello tissutale, cellulare e sub-cellulare.

SPETTROSCOPIA DELLO STATO SOLIDO (FIS/03)

M. Patrini, P. Galinetto

Obiettivi formativi

Mediante l'illustrazione delle basi fisiche e delle tecnologie sperimentali tipiche delle spettroscopie dello stato solido, l'obiettivo del corso è far acquisire allo studente la capacità critica nella scelta di metodi di indagine e delle tecniche più opportuni per lo studio del materiale in esame, per analizzarne le proprietà strutturali, composizionali, elettroniche e vibrazionali.

Prerequisiti

Nozioni di Elettromagnetismo, Meccanica quantistica, e Fisica e chimica della materia.

Programma

Il programma del corso prevede sia lezioni frontali sia dimostrazioni in laboratorio, concernenti essenzialmente le spettroscopie ottiche.

Inizialmente vengono trattati argomenti generali riguardanti: interazione radiazione-materia, funzione dielettrica e indice di rifrazione complessi dei materiali, relazioni di dispersione e di Kramers-Kronig, effetti di campo locale, trattazioni classica e quantistica delle transizioni ottiche. Vengono quindi illustrate le spettroscopie ottiche e le loro applicazioni: riflettanza e trasmittanza con spettrometri, sia dispersivi sia a trasformata di Fourier; spettroscopia ellissometrica; spettroscopie Raman e di luminescenza; spettroscopia di risonanza paramagnetica elettronica; spettroscopie ottiche risolte in tempo. Vengono altresì presentate tecniche complementari per ottenere immagini topografiche e morfologiche, quali la Microscopia a Forza Atomica (AFM) e altre microscopie a sonda.

Bibliografia

H. Kuzmany Solid State Spectroscopy: an introduction (Springer 2009).

Handbook of Spectroscopy, G. Gauglitz & T. Vo-Dinh editors (Wiley, 2003).

Materiale fornito dai docenti.

Modalità di esame

Esame orale. Lo studente deve esporre inizialmente uno specifico argomento (tra quelli oggetto del corso e concordato con i docenti) dimostrando di conoscerne i fondamenti fisici e le problematiche sperimentali, anche avvalendosi di uno o più lavori scientifici che riportino risultati relativi alla metodologia/tecnica oggetto dell'approfondimento.

STORIA DELLA FISICA (FIS/08)

Vedi: Lauree triennali

STORIA DELLA MATEMATICA (MAT/04)

R. Rosso

Obiettivi formativi

L'obiettivo del corso è di far conoscere lo sviluppo storico della teoria della probabilità.

Prerequisiti

Conoscenze di probabilità elementari.

Programma

La preistoria della probabilità. Problemi di calcolo combinatorio legati al gioco d'azzardo. Il problema della ripartizione della posta da Pacioli ad Huygens. Prime applicazioni del calcolo delle probabilità alla compilazione di tavole di mortalità e al calcolo delle rendite vitalizie. L'**Ars Conjectandi** di Jacob Bernoulli. Il teorema di Bernoulli-De Moivre. Il paradosso di S. Pietroburgo. La nascita della probabilità inversa: Bayes, Price e Laplace. La teoria degli errori. La critica dei fondamenti della probabilità. Le impostazioni del calcolo della probabilità: impostazione frequentista (von Mises), logicista (Keynes), soggettivista (De Finetti e Ramsey). L'approccio assiomatico al calcolo delle probabilità da Bohlmann a Kolmogorov.

Bibliografia

I. Hacking "L'emergenza della probabilità" Il Saggiatore (1975).
A. Hald: "History of Probability and Statistics and their applications before 1750" Wiley (2003).
A. Hald: "A History of Mathematical Statistics From 1750 to 1930" Wiley (1998).
M.C. Galavotti: "Philosophical Introduction to Probability" CSLI (2005).
I. Dale: "A History of Inverse Probability. From Thomas Bayes to Karl Pearson" Springer (1999).
T.M. Porter: "The rise of statistical thinking 1820-1900" Princeton University Press (1986).
S.M. Stigler: " The History of Statistics. The measurement of Uncertainty before 1900".
J. von Plato: "Creating modern probability" Cambridge University Press (1998).
Appunti disponibili presso il sito web del corso. (<http://www-dimat.unipv.it/rosso/>).

Modalità di esame

Esame orale. Lo studente espone un argomento a sua scelta tra quelli trattati a lezione ed indicati dal docente.

STORIA DELLE SCIENZE (M-STO/05)

L. Fregonese

Obiettivi formativi:

Acquisizione critica dei contenuti descritti nel programma del corso.

Prerequisiti:

Il corso fornisce contestualmente gli elementi di storia della scienza necessari per la comprensione dei contenuti.

Programma:

Il corso opera sul doppio livello dei contenuti e della loro trasposizione in un MOOC (Massive Online Open Course), format molto recente per lo svolgimento di corsi online, utilizzato da numerose università soprattutto straniere. Si considerano i presupposti pedagogici e comunicativi alla base di questa tipologia di corsi, cercando anche di dare un'idea della sua dimensione e diffusione nella rete. Sul versante dei contenuti, il corso esamina l'invenzione della pila di Alessandro Volta, vero e proprio punto di svolta nella storia della scienza grazie alla ricca serie di conseguenze che lo strumento ebbe e che in poco tempo aprirono i nuovi fertilissimi settori dell'elettrochimica e dell'elettromagnetismo. Innescate dagli esperimenti e dalle idee di Galvani sull'elettricità animale, le ricerche di Volta toccarono punti centrali della fisiologia e della fisica dell'epoca ed ebbero un punto di forza nelle idee e nelle apparecchiature elettriche da lui stesso sviluppate negli anni precedenti. Particolarmente importante fu il ruolo dell'elettricità di contatto, nuovo concetto introdotto da Volta sin dalle prime fasi dei dibattiti, fonte di lunghe controversie, ma alla fine riconosciuto come "effetto

Volta” reale che oggi si sfrutta in tecnologie d’avanguardia quali le celle fotovoltaiche, i microchip e i LED. Usando anche gli strumenti di fisica originali oggi custoditi nel Museo per la Storia dell’Università di Pavia, il corso si propone in definitiva di dare un’idea storicamente accurata dell’invenzione della pila e dell’eredità a breve e lungo termine lasciataci dal suo ideatore: “L’eredità di Volta: dalla pila all’elettricità fotovoltaica”.

Bibliografia

Bellodi G., Bevilacqua F., Bonera G., Falomo L. (2002), a c. di, Gli strumenti di Alessandro Volta. Il Gabinetto di Fisica dell’Università di Pavia, Milano, Hoepli, 2002. [parti scelte].
Fregonese L. (2008), Volta Alessandro, in KOERTGE (2008), VII, pp. 166-172.
Fregonese L. (1999), Le Scienze. I grandi della scienza, 11. Volta. Teorie ed esperimenti di un filosofo naturale, Milano, Le Scienze, 1999. [parti scelte].
Heilbron John L. (1979), Electricity in the 17th and 18th Centuries. A Study of Early Modern Physics, Berkeley [...], University of California Press, 1979 (rist. 1999, con nuova Prefazione). [parti scelte].
L’età dei Lumi (2002), Roma, Istituto della Enciclopedia italiana, 2002. [parti scelte].
Pancaldi G. (2003), Volta. Science and Culture in the Age of Enlightenment, Princeton, Princeton University Press, 2003. [parti scelte].

Modalità di esame

Esame orale su tutti i contenuti del programma.

STRUMENTAZIONE FISICA BIOSANITARIA (FIS/07)

M. Mariani

Obiettivi formativi

Il corso ha lo scopo di fornire le modalità operative ed i principi di funzionamento della strumentazione più largamente diffusa nel settore diagnostico e biomedicale attraverso lezioni frontali che affrontino da un punto di vista teorico i principi fisici che stanno alla base dei principi di funzionamento della strumentazione seguiti da laboratori vengono spiegati nella pratica i principi stessi di funzionamento della strumentazione e le modalità di acquisizione dei dati analizzabili in campo biomedicale e nei quali gli studenti stessi saranno messi nelle condizioni per poter utilizzare la strumentazione in modo quasi-autonomo. Al termine del corso lo studente dovrà essere in grado di conoscere i principi fisici che stanno alla base dei principi di funzionamento della strumentazione del settore diagnostico e biomedicale presentata, i principi di funzionamento stessi della strumentazione e di utilizzare in modo quasi-autonomo la strumentazione stessa per la raccolta dei dati

Prerequisiti

Conoscenza delle nozioni impartite nei corsi della laurea triennale. In particolare statica e dinamica dei fluidi reali e ideali, meccanica del punto materiale, elettromagnetismo, concetti fondamentali di meccanica quantistica e di struttura della materia. Inoltre è consigliata la conoscenza dei concetti impartiti nei corsi di tecniche diagnostiche della laurea magistrale in scienze e tecnologie fisiche

Programma

Modalità operative e principi di funzionamento della strumentazione biomedicale più largamente diffusa nel settore diagnostico e medicale. Tecniche di Risonanza Magnetica Nucleare e di tomografia a Risonanza Magnetica (MRI): sistemi a corpo intero e sistemi dedicati. Tecniche ultrasonografiche: apparati per ecografia, ecocardiografia, ecodoppler, ecotomografia. Apparati per misure di flusso e di viscosità ematica generale e capillare. Applicazioni dello SQUID per lo studio dei segnali bio-magnetici nel cervello e Magneto-encefalografia. Gli argomenti trattati a lezione saranno oggetto di sperimentazione “in vitro” utilizzando strumentazione diagnostica biomedicale in dotazione del Laboratorio di Strumentazione Fisica Biosanitaria (Spettrometro NMR (Mid-Continent); Tomografo MRI (Artoscan-Esaote dedicato agli arti distali; Viscosimetri medicali) e presso l’Istituto di Radiologia del IRCCS Policlinico S. Matteo di Pavia (Ecotomografo).

Bibliografia

Bioimmagini. G. Coppini, S. Diciotti, G. Valli – Patron Editore.
Tecniche di CT e MRI nella Diagnostica per Immagini. L. Cei, A. La Fianza, C. Baluce. -Società Editrice Universo (Roma).
Medical Imaging Physics. W.R. Hendee, E.R. Ritenour – Wiley-Liss.

Slides fornite dal docente sugli argomenti trattati nelle lezioni frontali e nei laboratori
Modalità di esame

Modalità di esame

Esame orale. L'esame consiste in una relazione scritta sulle attività di laboratorio, presentata al docente prima del sostenimento dell'esame nella quale verrà valutata sia la conoscenza dei concetti teorici fondamentali della tecnica relazionata, sia la comprensione degli apparati sperimentali utilizzati in laboratorio. L'argomento della relazione sarà oggetto della prima domanda dell'esame durante il quale tutti gli aspetti verranno ulteriormente approfonditi. L'esame consisterà inoltre in ulteriori domande per valutare la conoscenza degli altri argomenti del corso, sia per comprendere le conoscenze teoriche sia quelle sperimentali acquisite dallo studente durante lo svolgimento del corso.

TECNICHE DIAGNOSTICHE I (FIS/07)

S. Altieri

Obiettivi formativi

Illustrazione dei principi di base delle tecniche di diagnostica clinica basate sull'uso delle radiazioni ionizzanti.

Prerequisiti

Radioattività - Interazione della radiazione con la materia – Rivelatori.

Programma

Principi fisici delle principali tecniche diagnostiche usate in clinica basate sull'uso delle radiazioni ionizzanti con riferimento sia alle modalità di imaging che ai relativi rivelatori. In particolare verranno trattati gli argomenti di seguito riportati. Caratteristiche principali dell'immagine medica e dei sistemi di imaging: Contrasto, Risoluzione, Point Spread Function (PSF), Line Spread Function (LSF), Edge Spread Function (ESF), Convoluzione, Modulation Transfer Function (MTF), Rumore, Rapporto Contrasto-Rumore, Rapporto Segnale-Rumore (SNR), Detective Quantum Efficiency (DQE). Produzione dei raggi X. Radiografia (pellicola radiografica), Radiografia Computerizzata e relativi rivelatori quali CCD, Flat Panels, Thin Film Transistor Array Detectors). Mammografia. Fluoroscopia. Tomografia Computerizzata. Imaging con radioisotopi: produzione di radioisotopi e radiofarmaci. La camera a scintillazione. Tomografia a emissione: SPECT e PET. Modalità combinate (SPECT/CT e PET/CT). Le lezioni saranno completate con seminari specialistici e visite a reparti di Radiologia e di Medicina Nucleare.

Bibliografia

Jerrold T. Bushberg, J. Anthony Seibert, Edwin M. Leidholdt Jr., John M. Boone-The Essential Physics of Medical Imaging - Edited by Lippincott Williams & Wilkins - Third Edition (2012) ISBN 978-0-7817-8057-5.

Webb's Physics of Medical imaging - Edited by M. A. Flower - Second edition (2012) ISBN 9781466568952.

Farr's Physics for Medical Imaging. P. Allisy-Roberts, J. Williams – Edited by Saunders - Elsevier, Second Edition (2008) - ISBN 9870702028441.

Modalità di esame

Esame orale

TECNICHE DIAGNOSTICHE II (FIS/07)

P. Carretta, A. Lascialfari

Obiettivi formativi

Il corso si propone di fornire le basi fisiche della Risonanza Magnetica Nucleare, i principi della polarizzazione dinamica dei nuclei; i fondamenti della Risonanza Magnetica per Immagini e i principi delle tecniche di ricostruzione di immagini. Lo studente dovrà aver acquisito una sufficiente padronanza di questi argomenti, tale da consentirgli di seguire con sufficiente autonomia parte della letteratura nel settore e di interagire in modo proficuo con i ricercatori che svolgono esperimenti di Risonanza Magnetica Nucleare.

Prerequisiti

Fondamenti dell'elettromagnetismo, meccanica statistica e meccanica quantistica

Programma

Viene trattato il fenomeno della risonanza magnetica, le equazioni fenomenologiche di Bloch, la relazione fra lo spettro NMR e il segnale di precessione libera. Successivamente vengono descritti gli effetti dell'interazione dipolare nucleo-nucleo sugli spettri, l'interazione dipolare indiretta e lo spostamento chimico. Sono quindi illustrati gli effetti dell'interazione quadrupolare elettrica e dell'interazione iperfine elettrone-nucleo sugli spettri. Particolare enfasi viene data all'effetto delle dinamiche sugli spettri NMR, sul segnale di eco di spin e sul tempo di rilassamento spin-reticolo. Vengono quindi illustrati esperimenti di doppia risonanza, le tecniche di iperpolarizzazione dei nuclei e i principi della risonanza magnetica bidimensionale. Il corso prosegue con la presentazione della Magnetic Resonance Imaging: imaging in una dimensione (1D), lo spazio K, gli echi di gradiente, l'imaging 3D mediante la decodifica in spazio (slice selection), fase e frequenza. Sarà quindi descritta la pesatura delle immagini in densità nucleare, T1 e T2, le sequenze MRI 2D e 3D. Verranno illustrate le tecniche di ricostruzione delle immagini: la trasformata di Fourier (caso discreto e continuo), il campionamento e l'aliasing, la ricostruzione di immagini per proiezione e retroproiezione, la trasformata di Radon e M-filtering, il caso dei raggi-X. Saranno infine descritte le misure pesate in diffusione, le proprietà magnetiche dei tessuti, la tecnica BOLD, l'MRI funzionale, le tecniche di acquisizione veloce e gli agenti di contrasto paramagnetici e superparamagnetici.

Bibliografia

E.M. Haacke, R.W. Brown, M.R. Thompson, R. Venkatesan, Magnetic Resonance Imaging – Physical Principles and Sequence Design – ed. Wiley-Liss.

C.P. Slichter, Principles of Magnetic Resonance (Springer Series in Solid State Physics, 3rd edition).

Modalità di esame

Esame orale. Si raccomanda di concentrarsi sulla comprensione fisica degli argomenti trattati e sulle approssimazioni fatte nelle derivazioni. E' importante saper illustrare i principi di funzionamento delle sequenze di impulsi a radiofrequenza e gradienti di campo utilizzate nella tomografia e spettroscopia a risonanza magnetica nucleare.

TECNOLOGIE DELLA COMUNICAZIONE SCIENTIFICA (FIS08)

L. Falomo Bernarduzzi

Obiettivi formativi

Il corso si propone di introdurre gli studenti alle profonde implicazioni che le nuove tecnologie digitali hanno avuto sui sistemi di accesso e di comunicazione dell'informazione.

Prerequisiti

Conoscenze di base riguardanti la creazione e la gestione di contenuti multimediali online possono essere utili agli studenti soprattutto durante l'elaborazione del progetto richiesto per l'esame. Durante il corso verranno comunque forniti tutti i contenuti necessari, con integrazioni stabilite sulla base delle esigenze degli studenti frequentanti.

Programma

Particolare risalto viene dato alle applicazioni e alle pratiche tipiche del web e del mobile, importanti supporti per fare e comunicare la scienza, per insegnare e apprendere in modo più partecipato e collaborativo. Durante il corso vengono descritte le caratteristiche principali delle immagini digitali vettoriali e raster e del video digitale e utilizzati servizi di fotoritocco e montaggio video. Ci si sofferma su blog, comunità virtuali e wiki. Vengono presentate diverse tipologie di realtà aumentata e di storytelling scientifico digitale. Vengono utilizzati servizi di costruzione, anche collaborativa, e condivisione online di presentazioni e di mappe mentali e concettuali. Sono quindi presentati diversi esempi di applicazione, nella science education, nella ricerca e nella comunicazione scientifica, delle tecniche e degli strumenti analizzati. Durante il corso gli studenti potranno richiedere e/o presentare approfondimenti di proprio interesse, che saranno discussi in aula.

Bibliografia

La bibliografia e la sitografia di riferimento sono discusse durante le lezioni e indicate nel blog del corso.

Modalità di esame

Esame con elaborazione di progetto e prova orale. Le specifiche del progetto, discusse e decise in dettaglio con gli studenti frequentanti, verranno indicate sul blog del corso. Nella prova orale lo studente, dopo aver presentato il progetto, dovrà dimostrare di aver assimilato e rielaborato gli argomenti trattati durante il corso. La valutazione terrà conto della presentazione, facoltativa, di approfondimenti durante le lezioni e degli interventi inseriti nel blog.

TECNOLOGIE FISICHE E BENI CULTURALI (FIS/07)

Vedi: Lauree triennali

TEORIA DEI SISTEMI DINAMICI (MAT/07)

A. Marzuoli

Obiettivi formativi

Scopo del corso è l'acquisizione di una solida preparazione nel campo della Meccanica Analitica avanzata.

Prerequisiti

I contenuti di un corso di Meccanica Analitica (formalismo lagrangiano e hamiltoniano). La conoscenza delle nozioni di base di geometria differenziale è auspicabile.

Programma

Fondamenti geometrici della meccanica lagrangiana e hamiltoniana. Flusso hamiltoniano, teorema di Liouville, teorema di Poincaré. Struttura simplettica dello spazio delle fasi hamiltoniano; 1-forma di Poincaré-Cartan e forma simplettica. Trasformazioni canoniche e loro caratterizzazione. Struttura algebrica delle variabili dinamiche: parentesi di Poisson e legame con la derivata di Lie. Costanti del moto e proprietà di simmetria (teorema di Noether hamiltoniano). Equazioni di Hamilton-Jacobi; variabili azione-angolo nel caso unidimensionale e nel caso n-dimensionale separabile. Sistemi hamiltoniani completamente integrabili: teoremi di Liouville e di Arnold. Argomenti avanzati per l'ultima parte del corso (in alternativa):

i) Teoria canonica delle perturbazioni e cenni al teorema KAM (Kolmogorov, Arnold, Moser); ii) Varietà di Poisson, metodo delle orbite coaggiunte e introduzione alla quantizzazione geometrica; iii) Metodi di topologia algebrica nello studio di sistemi dinamici discreti.

Bibliografia

A. Fasano, S. Marmi "Meccanica Analitica", Bollati Boringhieri 2002.

Modalità di esame

Prova orale.

TEORIA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI (FIS/02)

G. Montagna

Obiettivi formativi

Il corso si propone di fornire un'introduzione alle moderne teorie di gauge delle interazioni fondamentali, con l'obiettivo di illustrare gli aspetti concettuali e teorici alla base del Modello Standard delle interazioni elettrodeboli e forti.

Prerequisiti

Aver seguito il corso di Elettrodinamica Quantistica della laurea Magistrale e possedere conoscenze di base di fisica delle particelle elementari (come ad esempio acquisite nel corso Introduzione alla Fisica Subnucleare della laurea Triennale). Consigliabile ma non obbligatorio è aver seguito il corso di Teoria Quantistica dei Campi.

Programma

L'elettrodinamica quantistica (QED) come teoria di gauge abeliana. L'invarianza di gauge non abeliana: teorie di Yang-Mills. Rottura spontanea della simmetria: modello di Goldstone e

meccanismo di Higgs. La teoria dell'unificazione elettrodebole: lagrangiana e principali implicazioni fenomenologiche. La lagrangiana della cromodinamica quantistica (QCD): simmetrie esatte e approssimate, principali caratteristiche fenomenologiche. Effetti perturbativi a 1-loop: polarizzazione del vuoto in QED e QCD, libertà asintotica della QCD. Fisica del neutrino.

Bibliografia

C. Quigg - Gauge Theories of the Strong, Weak and Electromagnetic Interactions - ©1983, 1997, Addison Wesley Longman, Inc.

C.M. Becchi, G. Ridolfi – An Introduction to Relativistic Processes and the Standard Model of Electroweak Interactions, Springer.

Modalità di esame

Esame orale. Lo studente dovrà dimostrare di essersi impadronito del formalismo relativo all'invarianza di gauge e di come questo trovi applicazione nello sviluppo delle attuali teorie delle interazioni fondamentali. Dovrà essere anche in grado di discutere le principali conseguenze fenomenologiche delle teorie.

TEORIA FISICA DELL'INFORMAZIONE (FIS/03)

P. Perinotti

Obiettivi Formativi

Apprendimento degli elementi della teoria della codifica e trasmissione di informazione su supporti classici e quantistici.

Prerequisiti

Si richiede allo studente una conoscenza elementare della struttura matematica della teoria delle probabilità e della meccanica quantistica. Le nozioni necessarie nell'ambito del corso saranno comunque introdotte nelle prime lezioni.

Programma

Il corso copre gli argomenti chiave della teoria dell'informazione classica e quantistica, sviluppando soprattutto gli aspetti di comprimibilità e correggibilità, intimamente connessi con il concetto stesso di informazione.

Parte 1: Informazione classica. Si introducono i concetti base, alcuni tipi di codifica, schemi di compressione e error-correction, nonché diverse misure dell'informazione, entropie di Shannon, mutua informazione e loro proprietà. Si dimostrano i due teoremi di Shannon sulla compressione e sulla trasmissione affidabile, la disuguaglianza di Fano, il data-processing theorem, il bound di Mc Millan.

Parte 2: Informazione classica su supporti quantistici. Si introducono le entropie quantistiche di von Neumann e le loro proprietà, dimostrando il teorema di Lieb e la monotonicità di Uhlmann dell'entropia relativa. Si introducono l'informazione accessibile e il bound di Holevo.

Parte 3: Informazione quantistica. La terza parte comincia con l'analisi dell'affidabilità della compressione quantistica, introducendo fidelity e entanglement fidelity. Si dimostrano il teorema di compressione di Schumacher e la disuguaglianza di Fano quantistica. Si presentano l'informazione coerente ed il data-processing theorem quantistico. Si espone la teoria generale dell'error correction quantistica, con cenni a teletrasporto e dense coding.

Bibliografia

I. K. Chuang and M. A. Nielsen, Quantum Information and Quantum Computation, Cambridge University Press, (Cambridge UK 2000).

D. J. C. MacKay, Information Theory, Inference, and Learning Algorithms, Cambridge University Press (Cambridge UK 2001).

T. M. Cover, J. A. Thomas, Elements of Information Theory, John Wiley & Sons (Hoboken USA 2012).

Modalità di esame

L'esame prevede una prova orale. Lo studente deve padroneggiare gli argomenti del corso ed essere in grado di risolvere problemi elementari.

TEORIA QUANTISTICA DEI CAMPI (FIS/02)

F. Piccinini

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti di base e dei metodi funzionali in teoria quantistica dei campi, con particolare riferimento all'elettrodinamica quantistica come prototipo delle teorie di gauge.

Prerequisiti

Conoscenze di base di meccanica quantistica non relativistica e di relatività speciale.

Programma

- Quantizzazione alla Feynman in meccanica quantistica non relativistica
- Approccio funzionale in teoria quantistica dei campi: quantizzazione dei campi scalari, dei campi vettoriali (con particolare riferimento ai campi di gauge) e dei campi fermionici.
- Relazione generale tra le funzioni di Green e gli elementi di matrice S: le formule di riduzione LSZ.
- Rinormalizzazione (concetti generali, regolarizzazione dimensionale e calcoli di funzioni di Green a una loop in teoria delle perturbazioni) per un modello scalare di campo autointeragente e per l'Elettrodinamica quantistica.
- Divergenze infrarosse in Elettrodinamica Quantistica
- Gruppo di Rinormalizzazione.

Bibliografia

L.H. Ryder, Quantum Field Theory, Cambridge, 1996.

A. Zee, Quantum Field Theory in a Nutshell, Princeton University Press, 2010.

Note a cura del docente.

Modalità di esame

Esame orale

STRUTTURA E ATTIVITA' DEL DIPARTIMENTO DI FISICA

DIPARTIMENTO DI FISICA

Via Bassi, 6

Numeri telefonici

Informazioni 0382/987471

Segreteria 0382/987473 - 987436 - 987584

Segreteria Amministrativa 0382/987577

Direzione 0382/987626

Presso il Dipartimento hanno sede la Sezione di Pavia dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e l'Unità di Pavia del Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze Fisiche della Materia (CNISM).

ATTIVITÀ DI RICERCA SCIENTIFICA

Le attività di ricerca, svolte da docenti afferenti al Corso di laurea in Fisica, coerenti e rilevanti rispetto agli obiettivi formativi del corso di studio, si svolgono nel Dipartimento di Fisica. I gruppi di ricerca sono impegnati in tematiche tra le più attuali della fisica moderna. Una descrizione completa delle linee di ricerca è disponibile sui siti web del Dipartimento di Fisica: <http://fisica.unipv.it> e del Dottorato di Ricerca in Fisica: <http://dottorato-fisica.unipv.it>. Per darne un quadro sintetico di riferimento, si citano le seguenti linee:

1. FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE (sperimentale e teorica)
2. FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA (sperimentale e teorica)
3. INFORMAZIONE QUANTISTICA, FONDAMENTI DELLA MECCANICA QUANTISTICA
4. ASTRONOMIA E ASTROFISICA
5. FISICA INTERDISCIPLINARE E APPLICATA
6. DIDATTICA E STORIA DELLA FISICA

FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE (sperimentale e teorica)

In stretta collaborazione con i centri nazionali ed internazionali più accreditati (CERN, FERMILAB, GRAN SASSO, FRASCATI, MAINZ etc.) viene condotta una ormai consolidata attività di studio dei costituenti elementari della materia e delle loro interazioni (gravitazionale, nucleare, debole, elettromagnetica).

Le ricerche sono di tipo sia teorico (modelli fenomenologici, teorie generali) sia sperimentale.

L'attività sperimentale è svolta nell'ambito di collaborazioni internazionali che comprendono gruppi di rilevanti dimensioni operanti in grandi centri di ricerca. Qui sono funzionanti i rivelatori di particelle esposti ai fasci delle grandi macchine acceleratrici o esposti ai raggi cosmici. L'attività di ricerca sia teorica sia sperimentale riguarda in particolare lo studio dei seguenti argomenti: bosone di Higgs, particelle supersimmetriche, materia oscura, quark pesanti, antimateria, neutrini solari e atmosferici, oscillazioni di neutrino, stabilità della materia, decadimenti radioattivi, interazioni di fotoni e protoni con nuclei, ipernuclei, possibili sperimentazioni a futuri grandi acceleratori, comprensione dei meccanismi attraverso cui le particelle elementari danno luogo a strutture su scala maggiore (neutroni e protoni) fino a determinare le proprietà dei nuclei atomici.

Dell'attività teorica fanno parte ricerche sulla gravità quantistica, la fisica dei buchi neri, la teoria delle corde e la cosmologia.

FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA (sperimentale e teorica)

Coerentemente con una tradizione consolidata, che negli anni 1950-60 ha visto la sede di Pavia come importante centro propulsore della fisica dei solidi in Italia, viene condotta in questo campo una articolata serie di ricerche che si avvalgono di attrezzati laboratori di spettroscopia ottica e di nanofotonica, di risonanza magnetica nucleare (NMR e NQR), di risonanza paramagnetica elettronica (EPR), nonché di moderni apparati per misure calorimetriche e di assorbimento e dispersione dielettrica.

Spettroscopia. Sono studiate le proprietà ottiche di isolanti e di semiconduttori, di nuovi materiali di sintesi aventi interesse anche applicativo per la microelettronica, di superfici e di interfacce di semiconduttori, di sistemi a confinamento quantistico (ad es. buche e punti quantici), di cristalli fotonici e nanostrutture plasmoniche, di polimeri. Una recente linea applicativa riguarda lo studio di materiali (semiconduttori e organici) per celle fotovoltaiche. Sono inoltre condotti studi di ottica lineare e non lineare, fra cui

spettroscopia Raman, di ossidi misti puri e drogati con elementi di transizione nonché di reperti archeologici e numerosi materiali di interesse applicativo.

Risonanza magnetica. È studiata la dinamica delle eccitazioni di spin e di carica in sistemi che manifestano transizioni di fase. La parte più rilevante delle ricerche basate sulla spettroscopia NMR-NQR ad impulsi è dedicata alle proprietà magnetiche microscopiche di superconduttori ad alta temperatura critica e di sistemi magnetici precursori. Le misure delle proprietà magnetiche dei materiali sono completate da misure di calorimetria e di magnetizzazione mediante magnetometro a SQUID in funzione di campo magnetico e temperatura. Con tecniche NMR ed EPR sono studiati fenomeni magnetici in ossidi di metalli di transizione.

Nell'ambito della Fisica Teorica della Materia vengono condotte varie ricerche riguardanti sia gli aspetti fisici di base, sia le connessioni con attività sperimentali e con vari risvolti applicativi. Fra gli argomenti principali vi sono la fisica dello stato solido (sistemi elettronici, proprietà ottiche e di trasporto), le nanostrutture (sistemi a bassa dimensionalità quali quantum wells e superreticoli, quantum wires e quantum dots), i sistemi di spin, le nanostrutture fotoniche quali i cristalli fotonici e le nanocavità, l'ottica classica e quantistica. Inoltre mediante tecniche teoriche-computazionali è studiata la meccanica statistica di fasi condensate quali liquidi, reticoli di spin e cristalli liquidi.

INFORMAZIONE QUANTISTICA, FONDAMENTI DELLA MECCANICA QUANTISTICA

Queste linee di ricerca di carattere teorico riguardano le basi concettuali e assiomatica della teoria quantistica e della teoria di campo quantistica, nonché le loro applicazioni al campo moderno della *quantum information*.

Informazione e computazione quantistica - Si studiano i nuovi metodi di computazione e comunicazione crittografica basate sulla sovrapposizione e sull'entanglement quantistici. Si progettano nuovi metodi di misurazione universale tomografici e clonazione ottimale di stati e trasformazioni. Parallelamente si progettano nuovi esperimenti per verifiche di fondamento della meccanica quantistica.

Fondamenti della meccanica quantistica - Il problema più rilevante della fisica teorica contemporanea— alla base dell'assenza di una teoria della gravità quantistica, è quello di riconciliare logicamente la teoria quantistica con la relatività generale. Una soluzione è offerta dal nuovo paradigma "informatico" che vede la legge fisica come algoritmo, e permette di assiomatizzare la teoria quantistica e la teoria di campo senza usare primitive fisiche, con una completa coerenza logica. Ricerche recenti hanno permesso di dedurre la teoria quantistica stessa e la teoria di campo libera da principi informatici, portando a nuova fenomenologia, visibile in principio ad altissime energie o nel dominio astrofisico.

ASTRONOMIA E ASTROFISICA

In collaborazione stretta con i consorzi delle principali missioni per astronomia dallo spazio (XMMNewton, Swift, AGILE, GLAST e altre), l'attività di ricerca si concentra sullo studio osservativo e l'interpretazione modellistica dell'emissione di alta energia (raggi X e gamma) da diverse classi di sorgenti cosmiche, quali stelle di neutroni isolate (radio pulsar e magnetar), sistemi binari in accrescimento (con nane bianche, stelle di neutroni o buchi neri), lampi di raggi gamma.

FISICA INTERDISCIPLINARE E APPLICATA

La collaborazione in aree interdisciplinari e il frequente legame fra ricerca di base e applicazioni al contesto socio-economico e industriale, oltre l'ambito accademico, sta assumendo una importanza crescente per la attività dei fisici. Le principali linee di ricerca di carattere applicativo (derivanti spesso da evoluzioni recenti delle ricerche tradizionali sopra menzionate) possono essere brevemente riassunte come segue:

Fisica Biomedica – Questa attività comprende lo studio degli effetti biologici delle radiazioni e la realizzazione di apparati per la misura delle caratteristiche di fasci di particelle (neutroni, protoni, fotoni,...), la realizzazione di originali apparecchiature elettromedicali, lo studio della diffusione ambientale di inquinanti chimici e radioattivi liberati in incidenti, lo sviluppo di nuove tecniche informatiche, la progettazione di nuovi rivelatori e la messa a punto di metodologie per la cura dei tumori mediante radiazioni nucleari (sia neutroni che protoni e ioni). Comprende inoltre lo sviluppo di tecniche di Imaging avanzato mediante NMR e di mezzi di contrasto usando nanoparticelle magnetiche.

Energia – La soluzione del problema energetico richiederà un grande sforzo di ricerca e sviluppo verso la generazione, stoccaggio e utilizzo di fonti di energia rinnovabili e a basso impatto ambientale. Presso il Dipartimento di Fisica sono attive linee di ricerca sulle celle solari fotovoltaiche di semiconduttori e di altri materiali, e sullo stoccaggio di energia sotto forma di idrogeno in nanostrutture di carbonio.

Fotonica e Nanotecnologie – Questa ricerca riguarda lo studio teorico, le proprietà elettroniche e ottiche, le nano-tecnologie di fabbricazione dei materiali di ultima generazione per l'optoelettronica e la fotonica. Questi sistemi, caratterizzati da strutture fotoniche su scala sub-micrometrica realizzate in materiali e nanostrutture

di semiconduttori, sono di grande interesse sia per lo studio di fenomeni fisici di base sia per la realizzazione di dispositivi miniaturizzati quali interconnessioni ottiche integrate, transistor ottico, laser a bassa soglia con applicazione alla Information and Communication Technology (ICT). Un'altra applicazione di grande portata riguarda lo sviluppo di biosensori per la rivelazione di piccole quantità di molecole biologiche.

Quantum Information e Quantum Computing – In questo settore della fisica vi sono profondi legami fra problematiche di ricerca fondamentale in Meccanica Quantistica e applicazioni tecnologiche avanzate. Proprietà tipicamente quantistiche quali la complementarità e l'entanglement hanno già permesso la realizzazione sperimentale della Quantum Cryptography, e sebbene gli sviluppi di un computer quantistico siano ancora in una fase preliminare, vi sono forti aspettative nel mondo industriale e nella ICT, con particolare riguardo alla crittografia quantistica.

DIDATTICA E STORIA DELLA FISICA

Didattica della fisica - Obiettivo principale della ricerca è individuare strumenti e metodologie che contribuiscano al miglioramento dell'insegnamento/apprendimento della fisica. Le ricerche in corso riguardano prevalentemente

- la progettazione e la sperimentazione di modelli per la formazione iniziale e in servizio degli insegnanti di fisica che consentano di sviluppare, come parte fondamentale della professionalità dei docenti, competenze sia sugli aspetti specifici della disciplina fisica sia su quelli cognitivi e didattici;
- l'elaborazione di percorsi didattici su temi rilevanti di fisica che costituiscano il punto di partenza sia per la sperimentazione in classe sia per le attività di formazione iniziale dei docenti.

Particolare attenzione viene dedicata all'impiego delle nuove tecnologie nell'insegnamento/apprendimento della fisica nei diversi livelli scolari. La ricerca viene svolta nell'ambito di progetti nazionali e internazionali.

Storia della fisica - Le ricerche sono orientate verso una comprensione storica degli sviluppi delle varie discipline fisiche che non tenga conto soltanto degli aspetti tecnici ed interni ma anche del globale contesto culturale e sociale. Partendo dalle tradizioni meccaniciste cartesiane, newtoniana e leibniziana nei differenti contesti europei e in particolare in Italia, si analizzano così le articolazioni e le mutazioni storiche della meccanica, dell'elettromagnetismo, della relatività, della fisica quantistica e del caos, della fisica teorica, connettendole alle tradizioni scientifiche, epistemologiche, filosofiche e religiose.

DOTTORATO DI RICERCA IN FISICA

http://www-2.unipv.it/dottorati/scienzeetecnologie/fisica/n/web_PhD/

Il Dipartimento di Fisica concorre al funzionamento didattico e scientifico del Dottorato di Ricerca in Fisica.

Il Dottorato ha la durata di tre anni e dà la possibilità di seguire i seguenti curricula di studi:

- 1) Fisica delle interazioni fondamentali (fisica nucleare e subnucleare, fisica teorica e matematica);
- 2) Fisica della materia (fisica dei solidi e struttura della materia, ottica e fotonica, quantum information);
- 3) Fisica interdisciplinare e applicata (fisica biomedicale, energia, ICT)

I dottorandi devono seguire un piano di studi che prevede di norma la frequenza di 4 corsi al primo anno e 2 corsi al primo semestre del secondo anno. L'accesso agli anni successivi al primo avviene in base all'esito delle prove di esame (o scritta, o orale o entrambe a discrezione del docente) e ad un seminario orale presentato dal dottorando.

I dottorandi hanno l'obbligo di svolgere attività di ricerca in uno dei tre curricula. Le ricerche, che devono avere carattere innovativo e originale, sono spesso in collaborazioni con università o enti di ricerca italiani o esteri. I dottorandi partecipano ai programmi di ricerca che si svolgono nel Dipartimento di Fisica, programmi finanziati in parte dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MiUR), dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), dal Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze Fisiche della Materia (CNISM), dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), dall'Unione Europea e da altre istituzioni. Alla fine del triennio, il dottorando deve preparare una dissertazione scritta (tesi di dottorato) che descrive i risultati della ricerca.

La formazione dei dottorandi è finalizzata non solo alla ricerca di tipo accademico, ma anche all'acquisizione di abilità spendibili in qualunque ambiente professionale caratterizzato da attività di problem solving e di ricerca avanzata. Le abilità ("skills and knowledge") comprendono conoscenze dei meccanismi di finanziamento europei e nazionali, capacità di management, capacità informatiche e di comunicazione, conoscenze dei meccanismi imprenditoriali, di proprietà intellettuale e spin-off. Tutte queste capacità, riassumibili nell'espressione inglese "entrepreneurship", permetteranno al dottorando di far maturare le proprie aspirazioni e, in seguito al completamento del triennio, di cogliere opportunità professionali a livello avanzato in università, enti di ricerca, settori industriali e altri.

A partire dall'anno accademico 2000/2001, a seguito di delibera Ministeriale, il dottorato ha carattere internazionale grazie ad accordi specifici con le Graduate Schools delle Università di California a Santa Barbara, Santa Cruz, e Berkeley, Colorado a Boulder, Washington a Seattle, Iowa a Ames, Purdue a Lafayette, Stony Brook a New York, Paris 6 - Pierre e Marie Curie, Cracovia e altre. Dottorandi selezionati in base ai programmi di ricerca saranno autorizzati a seguire corsi e sostenere esami nonché trascorrere periodi di ricerca presso una delle Università partecipanti. Il programma prevede lo scambio di docenti nonché l'attribuzione di un International Certificate of Doctoral Studies (ICDS).

BIBLIOTECA DELLE SCIENZE E SEZIONE DI FISICA

Via A. Bassi, 6 - Tel. 987510 - fax 987262

E-mail: biblioteca.dellescienze@unipv.it

Gli studenti dell'Area Scientifica hanno tre biblioteche di riferimento:

- la Biblioteca delle Scienze in zona Istituti (sezioni di Fisica e Chimica),
- la Biblioteca della Scienza e della Tecnica in zona Nave (sezioni Tamburo e Botta 2) e in centro città (sezione dell'Orto Botanico),
- la Biblioteca di Area Medica all'interno del Policlinico San Matteo.

Le tre Biblioteche lavorano in modo coordinato per offrire agli utenti un ventaglio di servizi omogenei nelle varie sedi:

- sale studio aperte dal lunedì al venerdì con orario continuato e in alcune sezioni anche prolungato (lun-gio sino alle 19:00, venerdì sino alle ore 16:30/17:00 a seconda delle sedi),
- postazioni informatiche con accesso alla Rete
- Wi-Fi,
- l'accesso a risorse cartacee (monografie, periodici) e digitali (e-journals, e-books, banche dati, EndNote Web ecc...),
- la consultazione e il prestito delle opere possedute,
- la richiesta di prestito interbibliotecario per ottenere volumi non posseduti dalla biblioteca,
- la richiesta di fornitura documenti per reperire articoli e parti di libro non posseduti dalla biblioteca,
- il servizio di fotocopione, stampa, scansione,
- assistenza bibliografica specialistica finalizzata a dotare l'utente che si avvale del servizio delle corrette procedure per svolgere ricerche metodologiche incentrate su un determinato argomento attraverso strumenti scientificamente validi (cataloghi, banche dati, repertori bibliografici, ecc...),
- corsi di formazione multilivello destinati all'utenza (Information Literacy).

Maggiori informazioni potranno essere reperite consultando il portale del Sistema Bibliotecario d'Ateneo (biblioteche.unipv.it)

LABORATORI DIDATTICI

Gli insegnamenti di laboratorio dei corsi di laurea dell'area fisica sono tenuti in parte presso i laboratori didattici situati presso la Cascina Cravino, via Bassi 21. I Laboratori Didattici sono attrezzati con varia strumentazione relativa a esperimenti di meccanica, termodinamica, elettromagnetismo, elettronica, informatica. Gli esperimenti sono interfacciati a personal computer appositamente dedicati all'acquisizione e all'analisi dei dati.

Altri laboratori situati presso i Dipartimenti Fisici, dedicati alla didattica ma vicini alle attività di ricerca, trattano esperimenti di ottica, acustica, elettronica, fisica quantistica, fisica nucleare, fisica dei solidi e strumentazione, risonanza magnetica e imaging, tecnologie educative e relative esperienze didattiche.

ISTITUTO UNIVERSITARIO DI STUDI SUPERIORI DI PAVIA

Unica realtà nel suo genere in Lombardia, la Scuola Superiore IUSS si propone di contribuire alla valorizzazione dei giovani di talento, offrendo loro, nella fase degli studi pre e post-laurea, percorsi formativi di alta qualificazione che ne esaltino le capacità, nonché occasioni di arricchimento scientifico e culturale, anche in senso interdisciplinare. Lo IUSS si propone altresì di contribuire al progresso della scienza, curando la formazione dei giovani alla ricerca e sviluppando programmi di ricerca scientifica.

Sito web: <http://www.iusspavia.it/>

LABORATORIO ENERGIA NUCLEARE APPLICATA (L.E.N.A.)

(Centro Servizi Interdipartimentale) Via Aselli, 41- Tel. 0382/987300

Presso il laboratorio è installato e funziona un Reattore Nucleare di ricerca da 250 kW della classe Triga Mark II, un irraggiatore di Cobalto-60 da 1000 Curie, un generatore di neutroni da 14 MeV e un generatore di raggi X da 350 KV. Il Laboratorio di Radiochimica è messo a disposizione dell'Università per le attività di ricerca, per la radiochimica e per l'analisi per attivazione neutronica.

Ulteriori informazioni si possono trovare nel sito web: <http://www.unipv-lena.it/>

CENTRO GRANDI STRUMENTI

Cascina Cravino, via Bassi, 21 – 27100 Pavia - Tel. 038298.7530 – Fax 0382422251 –

Il Centro Grandi Strumenti è un organismo creato allo scopo di acquisire e di gestire apparecchiature di particolare rilievo, di carattere il più possibile multidisciplinare, altrimenti non accessibili alle singole unità di ricerca dell'Ateneo. Il Centro si articola in diversi Laboratori, ciascuno dedicato ad una complessa e sofisticata tecnologia di indagine, di interesse per i ricercatori della nostra Università: 1. Laboratorio di Citometria; 2. Laboratorio di Cristallografia; 3. Laboratorio di Microscopia Elettronica; 4. Laboratorio di Risonanze Magnetiche; 5. Laboratorio di Spettrometria di Massa; 6. Laboratorio di Spettroscopie; 7. Laboratorio per la Struttura primaria delle proteine.

Ulteriori informazioni si possono trovare nel sito web: <http://cgs.unipv.it>.

CENTRO LINGUISTICO

Il Centro Linguistico d'Ateneo (CLA) dell'Università di Pavia offre una serie di servizi connessi all'insegnamento e all'apprendimento delle lingue. Tali servizi sono rivolti agli studenti, al personale docente, al personale tecnico-amministrativo dell'Ateneo pavese e a chiunque voglia apprendere o perfezionare la conoscenza delle lingue straniere.

Al CLA è possibile:

- usufruire del servizio di autoapprendimento delle lingue straniere e di italiano per stranieri;
- reperire informazioni riguardanti l'attività didattica integrativa svolta dai Collaboratori ed Esperti Linguistici di lingua madre (C.E.L.), grazie al supporto che il CLA fornisce agli insegnamenti curriculari di lingua per i vari Corsi di studio dell'Ateneo;
- sostenere gli esami per il conseguimento delle certificazioni, ampiamente accreditate dai Corsi di studio, di lingua inglese dell'Università di Cambridge ESOL (PET, FCE, CAE, CPE), la Certificazione di Italiano come Lingua Straniera dell'Università per Stranieri di Siena (CILS), la certificazione di tedesco come lingua straniera del Test DaF Institut di Bochum (Test DaF);
- frequentare corsi di lingua italiana per studenti stranieri in mobilità e per utenti esterni;
- partecipare alle iniziative scientifiche e didattiche volte alla diffusione delle lingue e delle culture straniere promosse dal CLA;

Il Centro Linguistico è dotato di laboratori linguistici e di aule multimediali. Inoltre dispone di una ricca mediateca contenente circa 1000 corsi con supporti audio, video e cd-rom relativi a 53 lingue diverse () e di una collezione di film in lingua originale che conta più di 650 titoli.

I supporti multimediali presenti nei laboratori possono essere utilizzati in maniera autonoma dagli studenti dell'Ateneo per approfondire gli argomenti affrontati durante le attività didattiche integrative svolte dai C.E.L. e, più in generale, dai vari utenti per apprendere o rafforzare la conoscenza di una lingua straniera o per prepararsi ad un esame di certificazione internazionale.

L'assistenza è garantita dalla presenza costante di tecnici laureati in lingue i quali sono a disposizione per aiutare nella scelta del materiale didattico e del percorso di apprendimento.

Presso il CLA gli utenti possono trovare informazioni e materiali didattici non solo sulle certificazioni di cui lo stesso è sede d'esame, ma anche sulle altre principali certificazioni internazionali di lingua straniera quali TOEFL e IELTS (lingua inglese), DELF/DALF (lingua francese), certificazioni del Goethe Institut (lingua tedesca), D.E.L.E. (lingua spagnola).

Tel. e fax Laboratori +39-0382-984476

Tel. e fax Uffici +39-0382-984383

Sito web: <http://cla.unipv.it>

PROGRAMMA ERASMUS

Erasmus è il programma comunitario che consente agli studenti universitari di trascorrere un periodo di studio (da 3 a 12 mesi) presso un Istituto di Istruzione Superiore di uno dei paesi partecipanti al programma, offrendo l'opportunità di seguire corsi, di usufruire dei servizi e delle strutture universitarie (senza pagare ulteriori tasse di iscrizione oltre a quelle già pagate in Italia) e di ottenere il riconoscimento degli esami sostenuti. Dal 2007 Erasmus fa parte di LLP (Life Long Programme) il nuovo programma comunitario finalizzato a sviluppare la dimensione europea dell'apprendimento lungo tutto l'arco della vita.

In Università il Programma è gestito da:

Ufficio Mobilità Studentesca - Via S. Agostino 1, 27100 Pavia

E-mail: erasmus@unipv.it Tel 0039 0382 984302 Fax 0039 0382 984314

<http://www.unipv.eu/site/home/internazionalizzazione/erasmus.html>

CENTRO ORIENTAMENTO UNIVERSITARIO (C.O.R.)

Via S. Agostino 8, Tel 0382/984218-296/210, Fax 0382/984449

sito internet: <http://cor.unipv.it> e-mail: cor@unipv.it

Il COR, Centro Orientamento Universitario, è un Centro di Servizi e ha lo scopo di attuare tutte le iniziative occorrenti per garantire un processo di orientamento continuativo e dinamico degli studenti che inizi dal penultimo anno di Scuola Secondaria e continui per tutto il periodo di iscrizione ai corsi universitari, con particolare attenzione alle fasi di ingresso nell'Università e di uscita verso il mondo del lavoro.

Il Centro svolge attività di informazione, di formazione e di valutazione, in collegamento con le strutture didattiche e amministrative interessate, mediante la razionalizzazione dei servizi rivolti agli studenti in modo da prevenire o ridurre il fenomeno dei fuori corso e degli abbandoni.

Cura le attività promozionali di relazioni pubbliche e le comunicazioni interne, nell'ambito delle finalità del Centro.

Promuove iniziative di sostegno didattico e tutorato, curando in modo particolare gli studenti nella fase precedente alla scelta, nelle pre-iscrizioni e nel primo anno di corso.

Collabora con l'Istituto per lo Studio Universitario di Pavia ed i Provveditori agli Studi ai fini dell'efficace realizzazione delle attività di orientamento.

L'attività del Centro è articolata in tre settori in relazione alle differenti tipologie di orientamento universitario (Pre, Intra e Post).

S.A.I.S.D.

A partire dall'anno accademico 1999-2000, in attuazione della l. 28 gennaio 1999, n. 17 (di integrazione e modifica della legge-quadro 5 febbraio 1992, n. 104, per l'assistenza, l'integrazione sociale e i diritti delle persone disabili), è stato istituito presso l'Università di Pavia il Servizio di Assistenza e Integrazione Studenti Disabili (S.A.I.S.D.), al fine di offrire agli studenti disabili un servizio integrato di accoglienza, assistenza e integrazione all'interno del mondo universitario.

Ulteriori informazioni si possono trovare nel sito web: <http://saisd.unipv.it>

RAPPRESENTANZE STUDENTESCHE

Con l'intento di offrire una figura di supporto, nella necessità di mediare un qualunque rapporto con la classe docente o semplicemente per raccogliere opinioni, critiche, richieste riguardanti l'organizzazione didattica e strutturale del Corso di Laurea, nasce il ruolo del Rappresentante degli studenti, eletto dagli studenti stessi.

I rappresentanti degli studenti nel Consiglio didattico di Scienze e Tecnologie Fisiche e nel Consiglio di Dipartimento di Fisica sono:

Cognome e Nome

Indirizzo e-mail

AMICI RICCARDO

riccardo.amici01@universitadipavia.it

LONGHI RUBENS

rubens.longhi01@universitadipavia.it

MARTI LORENZO	lorenzo.marti01@universitadipavia.it
MAZZOLARI GIOVANNI	giovanni.mazzolari01@universitadipavia.it
MUSANTE GIORGIO	giorgio.musante01@universitadipavia.it
PAICU STEFAN-NICOLAE	stefan-nicolae.paicu01@universitadipavia.it
RUSSO GIOVANNI	giovanni.russo03@universitadipavia.it
SALVI DIEGO	diego.salvi01@universitadipavia.it

ELENCO DOCENTI

Docente	Dipartimento di afferenza	Indirizzo e-mail	N. tel. 0382...
ALTIERI SAVERIO	Fisica	saverio.altieri@unipv.it	987635
ANDREANI LUCIO	Fisica	lucio.andreani@unipv.it	987481
ANTONINI SAMUELE	Matematica "F. Casorati"	samuele.antonini@unipv.it	985660
BACCHETTA ALESSANDRO	Fisica	alessandro.bacchetta@unipv.it	987449
BALLARINI FRANCESCA	Fisica	francesca.ballarini@unipv.it	987949
BELLANI VITTORIO	Fisica	vittorio.bellani@unipv.it	987685
BISI FULVIO	Matematica "F. Casorati"	fulvio.bisi@unipv.it	985658
BOCA GIANLUIGI	Fisica	gianluigi.boca@unipv.it	987522
BORTOLUSSI SILVA	Fisica	silva.bortolussi@unipv.it	987635
BOZZI GIUSEPPE	Fisica	giuseppe.bozzi@unipv.it	987790
BRAGHIERI ALESSANDRO	INFN – Sezione di Pavia	alessandro.braghieri@unipv.it	987628
CAPSONI DORETTA	Chimica	doretta.capsoni@unipv.it	987213
CARAVEO PATRIZIA	IASF - Milano	pat@iasf-milano.inaf.it	
CARFORA MAURO	Fisica	mauro.carfora@unipv.it	987443
CARRETTA PIETRO	Fisica	pietro.carretta@unipv.it	987478
CATTANEO P. WALTER	INFN Sezione di Pavia	paolo.cattaneo@unipv.it	987578
DAPPIAGGI CLAUDIO	Fisica	claudio.dappiaggi@unipv.it	987440
D'ARIANO GIACOMO	Fisica	giacomo.dariano@unipv.it	987484
DE AMBROSIS ANNA	Fisica	anna.deambrosisvigna@unipv.it	987690
DE BARI ANTONIO	Fisica	antonio.debari@unipv.it	987890
DE LUCA ANDREA	IASF - Milano	deluca@lambrate.inaf.it	
FACOETTI ANGELICA	CNAO	angelica.facoetti@unipv.it	
FALOMO LIDIA	Fisica	lidia.falomobernarduzzi@unipv.it	987461
FONTANA ANDREA	INFN – Sezione di Pavia	andrea.fontana@unipv.it	987991
FREDIANI PAOLA	Matematica "F. Casorati"	paola.frediani@unipv.it	985685
FREGONESE LUCIO	Fisica	lucio.fregonese@unipv.it	984659
GALINETTO PIETRO	Fisica	pietro.galinetto@unipv.it	987499
GALLI MATTEO	Fisica	matteo.galli@unipv.it	987501
GEDDO MARIO	Fisica	mario.geddo@unipv.it	987503
GERACE DARIO	Fisica	dario.gerace@unipv.it	987903
GHIGNA PAOLO	Chimica	paolo.ghigna@unipv.it	987574
GIROLETTI ELIO	Fisica	elio.giroletti@unipv.it	987905
GIULIANI ANDREA	IASF - Milano	giuliani@lambrate.inaf.it	
GIUSTI CARLOTTA	Fisica	carlotta.giusti@unipv.it	987454
GUAGNELLI MARCO	INFN – Sezione di Pavia	marco.guagnelli@unipv.it	987449
INTROZZI GIANLUCA	Fisica	gianluca.introzzi@unipv.it	987522
LASCIALFARI ALESSANDRO	Università di Milano	alessandro.lascialfari@unipv.it	987483
LICCHELLI MAURIZIO	Chimica	maurizio.licchelli@unipv.it	987936
LISCIDINI MARCO	Fisica	marco.liscidini@unipv.it	987680
LIVAN MICHELE	Fisica	michele.livan@unipv.it	987688
MACCHIAVELLO CHIARA	Fisica	chiara.macchiavello@unipv.it	987674
MACCONE LORENZO	Fisica	lorenzo.maccone@unipv.it	987482
MALGIERI MASSIMILIANO	Fisica		
MARABELLI FRANCO	Fisica	franco.marabelli@unipv.it	987709
MARACCI MIRKO	Matematica "F. Casorati"	mirko.maracci@unipv.it	985659
MARIANI MANUEL	Fisica	manuel.mariani@unipv.it	987496
MARZUOLI ANNALISA	Matematica "F. Casorati"	annalisa.marzuoli@unipv.it	987442
MONTAGNA GUIDO	Fisica	guido.montagna@unipv.it	987742
MONTAGNA PAOLO	Fisica	paolo.montagna@unipv.it	987636
MORA MARIA GIOVANNA	Matematica "F. Casorati"	mariagiovanna.mora@unipv.it	985687

MOZZATI MARIA CRISTINA	Fisica	mariacristina.mozzati@unipv.it	987682
NANO ROSANNA	Biologia animale	rosanna.nano@unipv.it	986405
NEGRI ANDREA	Fisica	andrea.negri@unipv.it	987234
NICROSINI ORESTE	INFN Sezione di Pavia	oreste.nicrosini@unipv.it	987681
OTTOLENGHI ANDREA	Fisica	andrea.ottolenghi@mi.infn.it	987892
PASQUINI BARBARA	Fisica	barbara.pasquini@unipv.it	987450
PATRINI MADDALENA	Fisica	maddalena.patrini@unipv.it	987498
PEDRONI PAOLO	INFN Sezione di Pavia	paolo.pedroni@unipv.it	987428
PERINOTTI PAOLO	Fisica	paolo.perinotti@unipv.it	987675
PICCININI FULVIO	INFN Sezione di Pavia	fulvio.piccinini@unipv.it	987740
PIROLA GIAN PIETRO	Matematica "F. Casorati"	gianpietro.pirola@unipv.it	985619
PRANDO GIACOMO	Fisica	giacomo.prando@unipv.it	987466
RADICI MARCO	INFN Sezione di Pavia	marco.radici@unipv.it	987451
REBUZZI DANIELA	Fisica	daniela.rebuzzi@unipv.it	987234
RICCARDI CRISTINA	Fisica	cristina.riccardi@unipv.it	987633
RIMOLDI ADELE	Fisica	adele.rimoldi@unipv.it	987427
ROSSO RICCARDO	Matematica "F. Casorati"	riccardo.rosso@unipv.it	985649
ROTONDI ALBERTO	Fisica	alberto.rotondi@unipv.it	987423
SACCHI MASSIMILIANO	Fisica	msacchi@unipv.it	987678
SALVARANI FRANCESCO	Matematica "F. Casorati"	francesco.salvarani@unipv.it	985658
SALVINI PAOLA	INFN Sezione di Pavia	paola.salvini@unipv.it	987630
SAVARE' GIUSEPPE	Matematica "F. Casorati"	giuseppe.savare@unipv.it	985684
SCHIMPERNA GIULIO	Matematica "F. Casorati"	gusch04@unipv.it	985654
SEGATTI ANTONIO	Matematica "F. Casorati"	antonio.segatti@unipv.it	985633
TOSCANI GIUSEPPE	Matematica "F. Casorati"	giuseppe.toscani@unipv.it	985640
VITALI ENRICO	Matematica "F. Casorati"	enrico.vitali@unipv.it	985653
VITULO PAOLO	Fisica	paolo.vitulo@unipv.it	987633