

Università degli studi di Milano-Bicocca



Scuola di Scienze
MM. FF. NN

Corso di laurea magistrale in
FISICA

Corso di laurea magistrale in
**ASTROFISICA e
FISICA dello SPAZIO**

2018-2019

I CORSI DI LAUREA MAGISTRALE

I corsi di Laurea Magistrale in Fisica e Laurea Magistrale in Astrofisica e Fisica dello Spazio completano la formazione del fisico, iniziata con la Laurea in Fisica, sviluppando i metodi e approfondendo i contenuti scientifici generali. Forniscono inoltre solide competenze professionali specifiche al Percorso scelto dallo studente. In particolare nel corso del biennio attraverso gli insegnamenti, la frequenza dei Laboratori e soprattutto nell'anno di preparazione della Tesi di Laurea, lo studente acquisirà sia padronanza di metodi e contenuti scientifici avanzati sia capacità indispensabili per assumere ruoli di responsabilità nella ricerca, nello sviluppo di tecnologie innovative, nella progettazione e gestione di strumentazione complessa.

FISICA

Il corso di Laurea Magistrale in Fisica, della durata di due anni, completa la formazione dei laureati triennali in Fisica, approfondendo i contenuti scientifici generali e sviluppando ulteriormente la familiarità con il metodo scientifico di indagine e di interpretazione dei fenomeni.

Il laureato avrà quindi padronanza degli strumenti matematici, informatici e di laboratorio essenziali per l'analisi, l'interpretazione e la riduzione di sistemi complessi. Si evidenzia il valore particolarmente formativo della frequenza di laboratori ad alta specializzazione. Sono attivi i Laboratori di Criogenia, di Fisica del Plasma, di Biofisica, di Astronomia, di Calcolo Avanzato, di Fisica dei Materiali (Dipartimento di Scienza dei Materiali), i Laboratori di ricerca dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e del Consiglio Nazionale delle Ricerche. La Tesi di Laurea Magistrale si svolge su argomenti di ricerca di base o applicata, presso il Dipartimento di Fisica o altri Dipartimenti dell'Ateneo anche in collaborazione con Centri di Ricerca nazionali ed internazionali ed industrie ad alta tecnologia.

Presso il dipartimento di Fisica "G.Occhialini" si svolgono attività di ricerca a supporto delle attività formative nei seguenti ambiti:

Fisica teorica;

Fisica delle interazioni fondamentali;

Biofisica;

Fisica dei plasmi;

Elettronica;

Fisica applicata all'ambiente e alla medicina;

Astrofisica e Fisica dello spazio;

Fisica dello stato solido e struttura della materia (presso il Dipartimento di Scienza dei Materiali).

ASTROFISICA E FISICA DELLO SPAZIO

Il Corso di Laurea Magistrale in Astrofisica e Scienze dello Spazio, di due anni, completa la formazione dei laureati triennali in fisica o in Astronomia sviluppando ed approfondendo i contenuti scientifici generali e la loro applicazione allo studio dell'Universo. L'attività di preparazione della tesi viene svolta presso i gruppi di ricerca operanti all'interno del Dipartimento di Fisica, presso i più importanti organismi nazionali di ricerca come INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica), CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche), INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare), PNRA (Programma Nazionale per le Ricerche in Antartide), ASI (Agenzia Spaziale Italiana) e presso industrie, in particolare quelle del settore spaziale, operanti nell'area milanese. Sono inoltre possibili brevi periodi di approfondimento e sviluppo della ricerca presso istituti e università europee.

FORMAZIONE *POST LAUREAM*

La formazione acquisita in entrambi i Corsi di Laurea Magistrale è ampiamente riconosciuta ed apprezzata e apre ai laureati prospettive interessanti nella ricerca fondamentale ed applicata in molti settori scientifico-tecnologici. Le competenze professionali acquisite risultano particolarmente utili nell'industria avanzata. È inoltre possibile, dopo il conseguimento delle Lauree Magistrali accedere, per concorso e con borsa di studio, al Dottorato di Ricerca in Fisica ed Astronomia di questo Ateneo e svolgere una attività di ricerca di livello internazionale in uno dei settori scientifici attivati nel Dipartimento di Fisica.

Manifesto annuale AA 2018-2019

1. Immatricolazione ai corsi di studio

Per essere ammessi al Corso di Laurea Magistrale occorre essere in possesso della Laurea o del Diploma universitario di durata triennale, ovvero di titolo di studio conseguito all'estero riconosciuto idoneo. In particolare possono essere ammessi alla Laurea Magistrale in Fisica i laureati delle Scuole di Scienze e di Ingegneria che dimostrino di possedere le conoscenze necessarie per seguire con profitto gli studi. A questo scopo, è previsto un colloquio di valutazione prima dell'inizio delle attività didattiche.

Il colloquio verificherà il possesso di:

- solide conoscenze di base della Fisica classica e della Fisica moderna e capacità di comprensione che permettano di estendere le proprie conoscenze con l'ausilio di testi avanzati;
- conoscenza e comprensione della Matematica e padronanza dei suoi metodi applicati alla Fisica;
- conoscenza operativa dei moderni strumenti di laboratorio, delle tecniche di acquisizione, elaborazione ed analisi di dati sperimentali, dei sistemi informatici e di calcolo automatico nelle loro applicazioni alla Fisica;
- in generale, conoscenze di base adeguate al proseguimento degli studi in Fisica.

Le date e le modalità di svolgimento dei colloqui sono rese pubbliche per tempo attraverso la pagina web del Corso di Studio e affisse in bacheca studenti presso il Dipartimento di Fisica "G. Occhialini", Edificio U2, Piazza della Scienza 3, 20126 Milano.

2. Riconoscimento CFU e modalità di trasferimento

Il riconoscimento dei CFU acquisiti in attività formative svolte presso altri corsi di Laurea di questo o di altro Ateneo (senza limiti di CFU coinvolti) è soggetto all'approvazione del CCD di Fisica e Astrofisica su proposta della Commissione Piani di Studi da esso nominata.

Secondo quanto previsto dall'articolo 5, comma 7 del decreto ministeriale del 22 ottobre 2004, n. 270, le conoscenze e le abilità professionali certificate individualmente, nonché le altre conoscenze e abilità maturate in attività pregresse possono essere riconosciute per un massimo di 20 CFU.

Informazioni di dettaglio sono reperibili sul sito della didattica del Corso in Fisica:

3. Iscrizione ad anni successivi al primo

Per quanto riguarda le iscrizioni ad anni successivi al primo si rimanda alla pagina web:

<https://www.unimib.it/servizi/segreteria/rinnova-liscrizione>

4. Orari delle lezioni

Le lezioni del primo semestre si svolgeranno nel periodo 1 ottobre 2018 – 25 gennaio 2019

Le lezioni del secondo semestre si svolgeranno nel periodo 4 marzo 2019 – 21 giugno 2019

Gli orari delle lezioni verranno pubblicati entro i primi di settembre sul sito

<http://orariolezioni.didattica.unimib.it/Orario/>

5. Programmi degli insegnamenti

La guida dello studente contenente i programmi dei singoli insegnamenti ed altre informazioni utili sull'organizzazione dell'attività didattica verrà pubblicata entro il mese di settembre sul sito del corso di laurea:

<https://www.fisica.unimib.it/it/didattica/corsi-studio>

6. Altre attività formative a scelta dello studente

Sono previsti 18 CFU per attività formative a scelta dello studente (*art. 10 comma 5 lettera a*) purché coerenti con il percorso formativo. Lo studente potrà scegliere tra le attività formative offerte dall'Ateneo, o da altro ateneo con cui siano intercorsi particolari accordi o convenzioni.

7. Esami

Gli esami di profitto possono essere scritti e/o orali. Gli insegnamenti di laboratorio possono comprendere anche verifiche pratiche.

I docenti possono prevedere, eventualmente, prove successive, anche scritte, da concludersi comunque con un controllo finale.

8. Presentazione piano degli studi

Entro la scadenza del I semestre del I anno di corso, secondo i tempi e le modalità previsti dagli organi accademici, lo studente dovrà presentare il proprio piano degli studi, che dovrà ottenere l'approvazione del Consiglio di Coordinamento Didattico di Fisica e Astrofisica.

9. Prova finale

La prova finale consiste nella discussione e presentazione davanti ad una apposita commissione di un elaborato originale in cui siano esposti il tema dell'attività svolta e i risultati conseguiti nel periodo di preparazione della prova finale. La prova finale è anche volta a verificare il conseguimento degli obiettivi formativi. I 47 CFU attribuiti alla attività di preparazione della prova finale vengono riconosciuti all'esito positivo di questa.

Altre informazioni

Sede del Corso: Dipartimento di Fisica, piazza della Scienza 3, 20126 Milano, Italia

Presidente del Consiglio di Coordinamento Didattico di Fisica e Astrofisica: Maddalena Collini

Referente didattico del corso: Maddalena Collini

Altri docenti di riferimento:

- Presidente della commissione didattica: Alberto Zaffaroni

Segreteria didattica: e-mail ccl.fisica@unimib.it

URL del corso di laurea:

<https://www.fisica.unimib.it/it/didattica/corsi-studio/corso-laurea-magistrale-fisica>

Ripartizione delle attività formative nel biennio

Anno I

Curriculum A: Fisica Teorica

ambiti disciplinari	CFU ambito	insegnamenti	SSD
sperimentale applicativo	10	A scelta tra: Laboratorio di Fisica Computazionale Laboratorio di Biofotonica I Laboratorio di Misure Nucleari e Subnucleari I	FIS/01
teorico e dei fondamenti della fisica	24	Fisica Teorica I Fisica Teorica II Teoria Quantistica dei Campi I Relativita' Generale	FIS/02
microfisico e della struttura della materia	6	Teoria Quantistica dei Campi II	FIS/04
affini e integrativi	12	Teoria e Fenomenologia delle Interazioni Fondamentali - FIS/02 Fisica delle Particelle III - FIS/01 Analisi Statistica dei Dati - FIS/01 Metodi Matematici della Fisica - FIS/02 Applicazioni della Fisica Neutroni - FIS/07 Termodinamica Statistica Computazionale dei Solidi - FIS/03 Elettronica - ING-INF/01 Fisica delle Superfici - FIS/03 Metodi Sperimentali in Fisica delle Alte Energie - FIS/04 Radiazioni Elettromagnetiche - FIS/03 Radiottivita' - FIS/04 Simulazione Montecarlo di Rivelatori di Radiazione - FIS/04 Teoria della Materia Condensata II - FIS/03 Gravità Quantistica-FIS/02	

Curriculum B: Fisica delle particelle e fisica applicata

ambiti disciplinari	CFU ambito	insegnamenti	SSD
sperimentale applicativo	22	Laboratorio di Misure Nucleari e Subnucleari I (10 cfu) - FIS/01 Laboratorio di Misure Nucleari e Subnucleari II(6 cfu) - FIS/01 Laboratorio di Biofotonica I (10cfu) - FIS/07 Laboratorio di Biofotonica II (6 cfu) - FIS/07 Biofotonica - FIS/07 Applicazioni della Fisica alla Medicina - FIS/07 Fisica delle Particelle II - FIS/01	FIS/01 FIS/07
teorico e dei fondamenti della fisica	6	A scelta tra: Fisica Teorica I Meccanica Statistica Teoria della Materia Condensata I	FIS/02
microfisico e della struttura della materia	12	Microscopia Ottica - FIS/03 Energetica - FIS/03 Fisica delle Particelle I - FIS/04 Rivelatori di Radiazioni - FIS/04 Fisica dello Stato Solido - FIS/03	FIS/03 FIS/04
affini e integrativi	12	Teoria e Fenomenologia delle Interazioni Fondamentali - FIS/02 Fisica delle Particelle III - FIS/01 Analisi Statistica dei Dati - FIS/01 Metodi Matematici della Fisica - FIS/02 Applicazioni della Fisica Neutroni - FIS/07 Termodinamica statistica computazionale dei Solidi - FIS/03 Elettronica - ING-INF/01 Fisica delle Superfici - FIS/03 Metodi Sperimentali in Fisica delle Alte Energie - FIS/04 Radiazioni Elettromagnetiche - FIS/03 Radiottività - FIS/04 Simulazione Montecarlo di Rivelatori di Radiazione - FIS/04 Teoria della Materia Condensata II - FIS/03 Gravità Quantistica-FIS/02	

Curriculum C: fisica della materia

ambiti disciplinari	CFU ambito	insegnamenti	SSD
sperimentale applicativo	16	A scelta tra: Laboratorio di Stato Solido ed Elettronica I (10 cfu) - FIS/01 Laboratorio di Stato Solido ed Elettronica II (6 cfu) - FIS/01 Laboratorio di Fisica Plasmi I (10 cfu) - FIS/01 Laboratorio di Fisica Plasmi II (6 cfu) - FIS/01	FIS/01
teorico e dei fondamenti della fisica	6	A scelta tra: Fisica Teorica I Meccanica Statistica Teoria della Materia Condensata I	FIS/02
microfisico e della struttura della materia	18	A scelta tra: Fisica dello Stato Solido Spettroscopia Ottica dello Stato Solido Fisica dei Semiconduttori Fisica dei Plasmi I Fisica dei Plasmi II Energetica	FIS/03
affini e integrativi	12	Teoria e Fenomenologia delle Interazioni Fondamentali - FIS/02 Particelle III - FIS/01 Analisi Statistica dei Dati - FIS/01 Metodi Matematici della Fisica - FIS/02 Applicazioni della Fisica Neutroni - FIS/07 Termodinamica statistica computazionale dei Solidi - FIS/03 Elettronica - ING-INF/01 Fisica delle Superfici - FIS/03 Metodi Sperimentali in Fisica delle Alte Energie - FIS/04 Radiazioni Elettromagnetiche - FIS/03 Radiottività - FIS/04 Simulazione Montecarlo di Rivelatori di Radiazione - FIS/04 Teoria della Materia Condensata II - FIS/03 Gravità Quantistica-FIS/02	

Comuni a tutti i curricula:

Attività formativa	CFU
A libera scelta dello studente	18
Ulteriori capacità informatiche e telematiche	3
Preparazione prova finale	47

Percorsi consigliati

Al fine di guidare lo studente nella scelta del piano di studi si riportano di seguito esempi non vincolanti di piani di studio modulati su specifici interessi.

Curriculum A: Percorso teorico

Ambito	Insegnamento	SSD	CFU
Sperimentale applicativo 10 CFU	Laboratorio di fisica computazionale	FIS/01	10
	Oppure Laboratorio di Misure Nucleari e Subnucleari I Laboratorio di Biofisica I		
Teorico e dei fondamenti della fisica 24 CFU	Fisica teorica I	FIS/02	6
	Fisica teorica II	FIS/02	6
	Relatività generale	FIS/02	6
	Teoria quantistica dei campi I	FIS/02	6
Microfisico e della struttura della materia 6 CFU	Teoria quantistica dei campi II	FIS/04	6
Affini e Integrativi 12 CFU	Teoria e fenomenologia delle interazioni fondamentali	FIS/02	6
	Metodi Matematici della Fisica	FIS/02	6
A scelta - 18 CFU	Meccanica statistica	FIS/02	6
	Gravita' quantistica	FIS/01	6
	1 corso da 6 cfu da scegliersi ad esempio tra:		
	Fisica delle particelle II	FIS/01	6
	Fisica delle particelle III	FIS/02-03	6
	Teoria della materia condensata I e II	FIS/05	6
Cosmologia			

Curriculum B: Fisica delle particelle

Ambito	Insegnamento	SSD	CFU
Sperimentale applicativo 22 CFU	Laboratorio Misure Nucleari e Subnucleari I	FIS/01	10
	Laboratorio di Misure Nucleari e Subnucleari II		6
	Fisica delle Particelle II		6
Teorico e dei fondamenti della fisica 6 CFU	Fisica teorica I	FIS/02	6
Microfisico e della struttura della materia 12 CFU	Fisica delle Particelle I	FIS/04	6
	Rivelatori di Radiazioni		6
Affini e Integrativi 12 CFU	Fisica delle particelle III	FIS/01	6
	Metodi Sperimentali in Fisica delle alte energie	FIS/04	6
A scelta - 18 CFU tra	Analisi Statistica dei dati	FIS/01	6
	Teoria e fenomenologia delle interazioni fondamentali	FIS/02	6
	Radioattività	FIS/04	6
	Elettronica	ING-INF/01	6

Curriculum B: Biofisica

Ambito	Insegnamento	SSD	CFU
Sperimentale applicativo 22 CFU	Laboratorio di Biofotonica I	FIS/07	10
	Laboratorio di Biofotonica II	FIS/07	6
	Biofotonica	FIS/07	6
Teorico e dei fondamenti della fisica 6 CFU	Meccanica Statistica	FIS/02	6
Microfisico e della struttura della materia 12 CFU	Microscopia ottica	FIS/03	6
	a scelta tra :		
	Fisica dello Stato Solido Energetica	FIS/03 FIS/03	6 6
Affini e Integrativi 12 CFU	Termodinamica Statistica Computazionale dei Solidi	FIS/03	6
	Analisi Statistica dei dati	FIS/01	6
A scelta - 18 CFU tra	Applicazioni della Fisica alla Medicina	FIS/07	6
	Energetica / Fisica dello Stato Solido	FIS/03	6
	Rivelatori di Radiazioni	FIS/04	6

Curriculum B: Fisica applicata alla Medicina e all'Ambiente

Ambito	Insegnamento	SSD	CFU
Sperimentale applicativo 22 CFU	Laboratorio di Misure Nucleari e Subnucleari I	FIS/01	10
	Laboratorio di Misure Nucleari e Subnucleari II	FIS/01	6
	Applicazioni della Fisica alla Medicina	FIS/07	6
Teorico e dei fondamenti della fisica 6 CFU	Meccanica Statistica	FIS/02	6
Microfisico e della struttura della materia 12 CFU	Energetica	FIS/03	6
	Rivelatori di Radiazioni	FIS/04	6
Affini e Integrativi 12 CFU	Radioattività	FIS/04	6
	Analisi Statistica dei dati	FIS/01	6
A scelta - 18 CFU tra	Applicazioni della Fisica ai Neutroni	FIS/07	6
	Radiazioni Elettromagnetiche	FIS/03	6
	Elettronica	ING-INF/01	6
	Microscopia Ottica	FIS/03	6
	Biofotonica	FIS/07	6

Curriculum C: Fisica dei plasmi

Ambito	Insegnamento	SSD	CFU
Sperimentale applicativo 16 CFU	Laboratorio di Plasmi I (10 cfu) - FIS/01	FIS/01	10
	Laboratorio di Plasmi II (6 cfu) - FIS/01	FIS/01	6
Teorico e dei fondamenti della fisica - 6 CFU a scelta tra	Meccanica statistica	FIS/02	6
	Teoria della materia condensata	FIS/02	6
Microfisico e della struttura della materia 18 CFU	Fisica dei plasmi I	FIS/03	6
	Fisica dei plasmi II	FIS/03	6
	Energetica	FIS/03	6
Affini e integrativi - 12 CFU a scelta tra	Analisi statistica dei dati	FIS/01	6
	Applicazioni della fisica dei neutroni	FIS/07	6
A scelta 18 CFU	Insegnamenti a scelta		

Curriculum C: Elettronica

Ambito	Insegnamento	SSD	CFU
Sperimentale applicativo (16)	Laboratorio di Stato Solido ed Elettronica I	FIS/01	10
	Laboratorio di Stato Solido ed Elettronica II	FIS/01	6
Teorico e dei fondamenti della fisica	Meccanica Statistica	FIS/02	6
Microfisico e della struttura della materia	Fisica dello Stato Solido	FIS/03	6
	Spettroscopia Ottica dello Stato Solido	FIS/03	6
	Fisica dei Semiconduttori	FIS/03	6
Affini e integrativi	Elettronica	ING-INF/01	6
	Radiazioni Elettromagnetiche	FIS/03	6
A scelta 18 CFU fra cui	Dispositivi Elettronici	FIS/03	4

Curriculum C: Fisica dello stato solido

Ambito	Insegnamento	SSD	CFU
Sperimentale applicativo 16 CFU	Laboratorio di Stato Solido ed Elettronica I	FIS/01	10
	Laboratorio di Stato Solido ed Elettronica II	FIS/01	6
Teorico e dei fondamenti della fisica: 6 CFU, a scelta tra:	Meccanica Statistica	FIS/02	6
	Teoria della Materia Condensata I	FIS/02	6
Microfisico e della struttura della materia	Fisica dello Stato Solido	FIS/03	6
	Spettroscopia Ottica dello Stato Solido	FIS/03	6
	Fisica dei Semiconduttori (mut. da S.M.)	FIS/03	6
Affini e integrativi: 12 CFU a scelta tra	Fisica delle Superfici	FIS/03	6
	Teoria della Materia Condensata II	FIS/03	6
	Termodinamica Statistica Computazionale dei Solidi	FIS/03	6
A libera scelta: 18 CFU a scelta tra	esclusi da scelte precedenti	FIS/02 FIS/03	6 6
	Fisica dei dielettrici *	FIS/03	6
	Elettronica e fotonica molecolare *	FIS/03	6
	Dispositivi elettronici *	FIS/03	4
	Nanotecnologie a.a. 2012/20013*	ING-IND/22	6
	Fisica dei plasmi I	FIS/03	6
	Materiali e dispositivi per energia *	ING-IND/01	4
	Scienza dei metalli *	FIS/03	4

* Insegnamenti del Corso di laurea magistrale in Scienza dei materiali

Manifesto annuale AA 2018-2019

1. Immatricolazione ai corsi di studio

Per essere ammessi al Corso di Laurea Magistrale occorre essere in possesso della laurea o del diploma universitario di durata triennale, o di un titolo di studio conseguito all'estero riconosciuto idoneo. In particolare possono essere ammessi alla Laurea Magistrale in Astrofisica e Fisica dello Spazio i laureati delle Scuole di Scienze e di Ingegneria che dimostrino di possedere le conoscenze necessarie per seguire con profitto gli studi. A questo scopo, è previsto un colloquio di valutazione prima dell'inizio delle attività didattiche.

Il colloquio verificherà il possesso di:

- solide conoscenze di base della fisica classica e della fisica moderna e capacità di comprensione che permettano di estendere le proprie conoscenze con l'ausilio di testi avanzati;
- conoscenza e comprensione della matematica e padronanza dei suoi metodi applicati alla fisica;
- conoscenza operativa dei moderni strumenti di laboratorio, delle tecniche di acquisizione, elaborazione ed analisi di dati sperimentali, dei sistemi informatici e di calcolo automatico nelle loro applicazioni alla fisica;
- in generale, conoscenze di base adeguate al proseguimento degli studi in astrofisica.

Le date e le modalità di svolgimento dei colloqui sono rese pubbliche per tempo attraverso la pagina web del corso di studi e affisse in bacheca studenti presso il Dipartimento di Fisica, edificio U2, Piazza della Scienza 3, 20126 Milano.

Il Corso di Laurea Magistrale in Astrofisica e Fisica dello Spazio è organizzato in un solo curriculum.

2. Riconoscimento CFU e modalità di trasferimento

Il riconoscimento dei CFU acquisiti in attività formative svolte presso altri corsi di Laurea di questo o di altro Ateneo (senza limiti di CFU coinvolti) è soggetto all'approvazione del CCD di Fisica e Astrofisica su proposta della Commissione Piani di Studi da esso nominata.

Secondo quanto previsto dall'articolo 5, comma 7 del decreto ministeriale del 22 ottobre 2004, n. 270, le conoscenze e le abilità professionali certificate individualmente, nonché le altre conoscenze e abilità maturate in attività pregresse possono essere riconosciute per un massimo di 20 CFU. Informazioni di dettaglio sono reperibili sul sito della didattica del Corso in Fisica:

3. Iscrizione ad anni successivi al primo

Per quanto riguarda le iscrizioni ad anni successivi al primo si rimanda alla pagina web:

<https://www.unimib.it/servizi/segreteria/rinnova-liscrizione>

4. Orari delle lezioni

Le lezioni del primo semestre si svolgeranno nel periodo 2 ottobre 2018 – 26 gennaio 2019

Le lezioni del secondo semestre si svolgeranno nel periodo 5 marzo 2019 – 22 giugno 2019

Gli orari delle lezioni verranno pubblicati entro fine settembre sul sito web:

<http://orariolezioni.didattica.unimib.it/Orario/>

5. Programmi degli insegnamenti

La guida dello studente contenente i programmi dei singoli insegnamenti ed altre informazioni utili sull'organizzazione dell'attività didattica verrà pubblicata entro il mese di settembre sul sito del corso di laurea:

<https://www.fisica.unimib.it/it/didattica/corsi-studio>

6. Altre attività formative a scelta dello studente

Sono previsti 12 CFU per attività formative a scelta dello studente (*art. 10 comma 5 lettera a*) purché coerenti con il percorso formativo. Lo studente potrà scegliere tra tutte le attività formative offerte dall'Ateneo, o da altro ateneo con cui siano intercorsi particolari accordi o convenzioni.

Non sono ammesse ripetizioni di insegnamenti già sostenuti nel corso di Laurea triennale, o che rispetto a questi presentino rilevanti sovrapposizioni nei contenuti.

7. Esami

Gli esami di profitto possono essere scritti e/o orali. Gli insegnamenti di laboratorio possono comprendere anche verifiche pratiche.

I docenti possono prevedere, eventualmente, prove successive, anche scritte, da concludersi comunque con un controllo finale.

8. Presentazione piano degli studi

Entro la scadenza del I semestre del I anno di corso, secondo i tempi e le modalità previsti dagli organi accademici, lo studente dovrà presentare il proprio piano degli studi, che dovrà ottenere l'approvazione del Consiglio di Coordinamento Didattico di Fisica e Astrofisica.

Le informazioni saranno pubblicate sulla pagina web

<https://www.unimib.it/servizi/segreterie/piani-degli-studi>

9. Prova finale

La prova finale consiste nella discussione e presentazione davanti ad una apposita commissione di un elaborato originale in cui siano esposti il tema dell'attività svolta e i risultati conseguiti nel periodo di preparazione della prova finale. La prova finale è anche volta a verificare il conseguimento degli obiettivi formativi. I 53 CFU attribuiti alla attività di preparazione della prova finale vengono riconosciuti all'esito positivo di questa.

Si rimanda al sito del corso di laurea per la consultazione del calendario delle sessioni di laurea:

<https://www.fisica.unimib.it/it/didattica/corsi-studio>

Altre informazioni

Sede del Corso: Dipartimento di Fisica, piazza della Scienza 3, 20126 Milano, Italia

Presidente del Consiglio di Coordinamento Didattico di Fisica e Astrofisica:

Maddalena Collini

Referente didattico del corso: Monica Colpi

Altri docenti di riferimento:

- Presidente della commissione didattica: Alberto Zaffaroni

Segreteria didattica: telefono +39 02 6448 2471 e-mail ccl.fisica@unimib.it

URL del corso di laurea: <https://www.fisica.unimib.it/it/didattica/corsi-studio/corso-laurea-magistrale-astrofisica-e-fisica-dello-spazio>

Le seguenti tabelle illustrano i corsi e le attività formative attivate nell'anno accademico 2018/2019

Anno I

Attività caratterizzanti

Ambiti disciplinari	CFU ambito	Insegnamenti	SSD	CFU
Astronomico-osservativo sperimentale	16	Astrofisica Stellare	FIS/05	8
		Astrofisica Relativistica	FIS/05	8
Astronomico-teorico	12	Cosmologia	FIS/05	6
		Astronomia Extragalattica	FIS/05	6
Astronomico-tecnologico	12	2 insegnamenti (12 CFU) a scelta tra Strumentazione Astronomica	FIS/05	6
		Raggi Cosmici	FIS/01	6
		Astrofisica Applicata	FIS/05	6

Attività affini e integrative

Attività affini o integrative	CFU ambito	Insegnamenti	SSD	CFU
		Laboratorio di Astrofisica	FIS/01	12
		Analisi Statistica dei Dati	FIS/01	6
		Teoria Quantistica dei Campi I	FIS/02	6
		Rivelatori di Radiazioni	FIS/04	6
		Processi Radiativi	FIS/01	6
		Relatività Generale	FIS/02	6

Anno II

Attività formativa	CFU
A libera scelta dello studente	12
Ulteriori capacità informatiche e telematiche	3
Preparazione prova finale	53

Indice dei programmi dei corsi:

ANALISI STATISTICA DEI DATI	p.18
APPLICAZIONI DELLA FISICA ALLA MEDICINA	p.20
APPLICAZIONI DELLA FISICA DEI NEUTRONI	p.22
ASTROFISICA RELATIVISTICA	p.24
ASTROFISICA STELLARE	p.26
ASTRONOMIA EXTRAGALATTICA	p.28
BIOFOTONICA	p.30
ASTROFISICA APPLICATA	p.32
COSMOLOGIA	p.34
ELETTRONICA	p.35
ENERGETICA	p.37
FISICA DEI PLASMI I	p.38
FISICA DEI PLASMI II	p.39
FISICA DEI SEMICONDUTTORI	p.41
FISICA DELLE PARTICELLE I	p.43
FISICA DELLE PARTICELLE II	p.45
FISICA DELLE PARTICELLE III	p.47
FISICA DELLE SUPERFICI	p.49
FISICA DELLO STATO SOLIDO	p.51
FISICA TEORICA I	p.52
FISICA TEORICA II	p.53
GRAVITA' QUANTISTICA	p.55
LABORATORIO DI ASTROFISICA	p.57
LABORATORIO DI BIOFOTONICA I	p.58
LABORATORIO DI BIOFOTONICA II	p.59
LABORATORIO DI FISICA COMPUTAZIONALE	p.60
LABORATORIO DI FISICA DEI PLASMI I	p.62
LABORATORIO DI FISICA DEI PLASMI II	p.63
LABORATORIO DI MISURE NUCLEARI E SUBNUCLEARI I	p.65
LABORATORIO DI MISURE NUCLEARI E SUBNUCLEARI II	p.66
LABORATORIO DI STATO SOLIDO ED ELETTRONICA I	p.67
LABORATORIO DI STATO SOLIDO ED ELETTRONICA II	p.69
MECCANICA STATISTICA	p.71
METODI MATEMATICI DELLA FISICA	p.72
METODI SPERIMENTALI IN FISICA DELLE ALTE ENERGIE	p.73
MICROSCOPIA OTTICA	p.75
PROCESSI RADIATIVI	p.76
RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE NON IONIZZANTI	p.78
RADIOATTIVITÀ	p.80
RAGGI COSMICI	p.81
RELATIVITÀ GENERALE	p.83
RIVELATORI DI RADIAZIONI	p.85
SIMULAZIONE MONTECARLO DI RIVELATORI DI RADIAZIONI	p.87
SPETTROSCOPIA OTTICA DELLO STATO SOLIDO	p.89
STRUMENTAZIONE ASTRONOMICA	p.91
TEORIA DELLA MATERIA CONDENSATA I	p.93
TEORIA DELLA MATERIA CONDENSATA II	p.95
TEORIA E FENOMENOLOGIA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI	p.97
TEORIA QUANTISTICA DEI CAMPI I	p.99
TEORIA QUANTISTICA DEI CAMPI II	p.101
TERMODINAMICA STATISTICA COMPUTAZIONALE DEI SOLIDI	p.103

Contents of the course programs:

STATISTICAL DATA ANALYSIS	p.19
APPLICATIONS OF PHYSICS TO MEDICINE	p.21
APPLICATION OF NEUTRON PHYSICS	p.23
RELATIVISTIC ASTROPHYSICS	p.25
STELLAR ASTROPHYSICS	p.27
EXTRAGALACTIC ASTRONOMY	p.29
BIOPHOTONICS	p.31
PRACTICAL ASTROPHYSICS	p.33
COSMOLOGY	p.34
ELECTRONICS	p.36
ENERGY PHYSICS	p.37
PLASMA PHYSICS I	p.38
PLASMA PHYSICS II	p.40
SEMICONDUCTORS PHYSICS	p.42
PARTICLE PHYSICS I	p.44
PARTICLE PHYSICS II	p.46
PARTICLE PHYSICS III	p.48
SURFACE PHYSICS	p.50
SOLID STATE PHYSICS	p.51
THEORETICAL PHYSICS I	p.52
THEORETICAL PHYSICS II	p.54
QUANTUM GRAVITY	p.56
LABORATORY OF ASTROPHYSICS	p.57
LABORATORY OF BIOPHOTONIC I	p.58
BIOPHOTONIC LABORATORY II	p.59
LABORATORY OF COMPUTATIONAL PHYSICS	p.61
PLASMA PHYSICS LABORATORY I	p.62
PLASMA PHYSICS LABORATORY II	p.64
LABORATORY OF NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS I	p.65
LABORATORY OF NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS II	p.66
SOLID STATE AND ELECTRONICS LABORATORY I	p.68
SOLID STATE AND ELECTRONICS LABORATORY II	p.70
STATISTICAL MECHANICS	p.71
MATHEMATICAL METHODS FOR PHYSICS	p.72
EXPERIMENTAL METHODS IN HIGH ENERGY PHYSICS	p.74
OPTICAL MICROSCOPY	p.75
RADIATIVE PROCESSES	p.77
NON IONIZING ELECTROMAGNETIC RADIATION	p.79
RADIOACTIVITY	p.80
COSMIC RAYS	p.82
GENERAL RELATIVITY	p.84
RADIATION DETECTORS	p.86
MC SIMULATION OF RADIATION DETECTORS	p.88
SOLID STATE OPTICAL SPECTROSCOPY	p.90
ASTRONOMICAL INSTRUMENTATION	p.92
THEORY OF CONDENSED MATTER I	p.94
THEORY OF CONDENSED MATTER II	p.96
THEORY AND PHENOMENOLOGY OF THE FUNDAMENTAL INTERACTIONS	p.98
QUANTUM FIELD THEORY I	p.100
QUANTUM FIELD THEORY II	p.102
COMPUTATIONAL STATISTICAL THERMODYNAMICS IN SOLIDS	p.104

ANALISI STATISTICA DEI DATI

6 CFU

Docente: Maurizio Bonesini

Contenuti: Cenni sui sistemi di acquisizione dati. Introduzione al concetto di segnale e suo trattamento. Richiami di tecniche di calcolo numerico. Richiami di calcolo delle probabilità e statistica. Cenni di statistica descrittiva. Testi statistici e stima di parametri. Introduzione ai metodi Monte Carlo. Livelli di confidenza. Metodi di unfolding e filtraggio dei dati. Introduzione alle neural nets.

Testi di riferimento:

W. H. Press et al. "Numerical Recipes", Cambridge University Press

S. Brandt "Statistical and Computational Methods in Data Analysis", North Holland

R. Barlow "Statistics: A guide to the use of Statistical Methods in the Physical Science", J. Wiley

Hetzl, A. Krogh. R.G. Palmer "Introduction to the Theory of Neural Computation", Addison Wesley

D. Yevick "A first course in computational Physics and Object-Oriented Programming in C++", Cambridge University Press

Obiettivi: Introdurre le più comuni tecniche di analisi dati utilizzabili per lo svolgimento di una tesi di laurea ed una attività di ricerca

Prerequisiti: Nozioni di analisi matematica e linguaggi di programmazione (F77 o C/C++) .

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU)

Periodo semestre: Secondo semestre

Altre informazioni: Sul sito web del dipartimento, alla pagina <https://www.fisica.unimib.it/dipartimento/persona>, è possibile trovare le informazioni sul CV del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Cenni sui sistemi di acquisizione dati. Introduzione al concetto di segnale e suo trattamento.

Richiami di calcolo numerico: aritmetica finita su un calcolatore, stabilità degli algoritmi, contenimento degli errori di calcolo. Tecniche di interpolazione, splines, ricerca di estremi di funzioni, smoothing di funzioni.

Richiami di calcolo delle probabilità e statistica: concetti fondamentali, teorema di Bayes, pdf notevoli, funzioni caratteristiche, propagazione degli errori multidimensionale ed errori sistematici.

Cenni di statistica descrittiva.

Testi statistici e stima di parametri: test di ipotesi, lemma di Neyman – Pearson, statistiche lineari e funzione discriminante di Fisher , tecniche per la stima di parametri (maximum likelihood, χ^2 , momenti).

Introduzione ai metodi Monte Carlo: metodo Monte Carlo, calcolo di integrali, generatori di numeri casuali, applicazioni ed esempi.

Livelli di confidenza: intervalli di confidenza classici, esempi, caso multidimensionale.

Metodi di unfolding e filtraggio dei dati: il problema dell' unfolding, tecniche di regolarizzazione, esempi.

Introduzione alle neural nets: il modello di Hopfield, il perceptrone , le NN multilayers, esempi applicativi.

STATISTICAL DATA ANALYSIS 6 CFU

Lecturer: Maurizio Bonesini

Contents: Introduction to data acquisition and signals treatment. Brief summary of numerical techniques. Brief summary of probability and statistics. Introduction to descriptive statistics. Statistical tests and parameter estimation. Introduction to Monte Carlo methods. Confidence levels. Unfolding methods and data filtering. Introduction to Neural Nets.

References:

W. H. Press et al. "Numerical Recipes", Cambridge University Press

S. Brandt "Statistical and Computational Methods in Data Analysis", North Holland

R. Barlow "Statistics: A guide to the use of Statistical Methods in the Physical Science", J. Wiley

Hetzl, A. Krogh, R.G. Palmer "Introduction to the Theory of Neural Computation", Addison Wesley

D. Yevick "A first course in computational Physics and Object-Oriented Programming in C++", Cambridge University Press

Aims: Develop the required abilities to treat properly experimental data for a master/PhD thesis and the following research work

Prerequisites: Notions of analysis and knowledge of a programming language, such as F77 or C/C++.

Teaching form: Lessons, 6 credits

Semester: Second semester

More information: Informations about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona>.

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

Introduction to data acquisition systems and signals treatment.

Numerical techniques: computer arithmetics, algorithm stability, interpolation techniques, splines, minimization of functions, smoothing of functions.

Brief summary of probability and statistics: fundamental concepts, Bayes theorem, main pdf distributions, characteristic functions, multidimensional error propagation and systematic errors.

Introduction to descriptive statistics.

Statistic tests and parameter estimation: hypothesis test, Neyman–Pearson test, linear statistics and Fisher discriminant, methods for parameters estimation (maximum likelihood, chi², moments).

Introduction to Monte Carlo methods: method MC, calculus of integrals, random number generators, examples.

Confidence levels: classical confidence intervals, examples, multidimensional case.

Unfolding methods e techniques for data filtering: the unfolding problem, regularization techniques, examples. Introduction to neural nets: the Hopfield model, the perceptron, multilayer neural nets, examples.

APPLICAZIONI DELLA FISICA ALLA MEDICINA

6 CFU

Docente: Isabella Castiglioni – Paganoni Marco

Testo consigliato: Johns H.E., Cunningham J.R.: The Physics of Radiology – Charles Thomas Publ. Agli studenti vengono forniti i file di tutte le lezioni in .ppt

Obiettivi: impartire le conoscenze fisiche e tecnologiche fondamentali relative alla diagnostica per immagini, alla radioterapia oncologica, alla medicina nucleare e alla tomografia a risonanza magnetica.

Prerequisiti: Buona conoscenza della fisica generale, interazione delle radiazioni con la materia e struttura della materia

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU), Attività seminariale (6 ore)

Periodo: 2° semestre

Modalità dell'esame: orale.

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Grandezze radiometriche e dosimetriche – Richiami sull'interazione della radiazione X e γ e degli elettroni con la materia – Generazione dei raggi X e caratteristiche dei fasci prodotti (rendimento, HVL) – Principi fisici della formazione e della visualizzazione dell'immagine con raggi X (pellicole radiografiche e rivelatori digitali) – Tomografia computerizzata – Controlli di qualità sui sistemi di imaging - Descrittori della dose nelle indagini radiologiche – Dosi e rischio nelle indagini radiologiche. Fondamenti fisici e radiobiologici della radioterapia: curve dose-effetto, TCP (Tumour Control Probability) e NTCP (Normal Tissues Complication Probability) – Apparecchiature per radioterapia esterna a fascio collimato, con particolare riguardo ad acceleratori lineari fissi e mobili – Curve di isodose – Elementi di dosimetria dei fasci - Controlli di qualità in radioterapia – Cenni alla brachiterapia interstiziale ed endocavitaria e all'adroterapia. Definizione di tracciante radioattivo – I principali radionuclidi impiegati in Medicina Nucleare – Scintigrafia planare e la gamma-camera – SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) e PET (Positron Emission Tomography). Richiami sul fenomeno della risonanza nucleare magnetica – Tomografia a RNM: le sequenze di impulsi e la ricostruzione delle immagini – Le apparecchiature a magnete superconduttore tecnologia e rischi associati Calcolo delle schermature per impianti radiologici a raggi X e γ .

APPLICATIONS OF PHYSICS TO MEDICINE

6 CFU

Lecturer: Isabella Castiglioni – Paganoni Marco

Aims: to give the basic physical and technological knowledge concerning radiological imaging, oncologic radiotherapy, nuclear medicine and NMR tomography.

Prerequisites: Good knowledge of general physics, interaction of radiation with matter and structure of matter.

Teaching form: Lessons (6 CFU), Tutorials (6 hours)

Semester: Second semester

More information:

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

Radiometric and dosimetric quantities – Notions about interaction of X and γ radiation and of electrons with matter – Generation of X-rays and characteristics of the beams (output, HVL) – Physical principles of formation and visualization of radiographic image (radiographic films and digital detectors) – Computed tomography – Quality control on imaging systems – Dose descriptors in radiological imaging – Dose and risk in radiologic examinations. Physical and radiobiological foundations of oncologic radiotherapy – Dose-effect curves, TCP (Tumour Control Probability) and NTCP (Normal Tissues Complication Probability) – Equipment for external beam radiotherapy, with particular regard to fixed and mobile linacs – Isodose curves – Elements of beam dosimetry – Quality control in radiotherapy – Notions about interstitial and endocavitary brachitherapy and hadrontherapy. Definition of radioactive tracer – Main radionuclides employed in Nuclear Medicine – Planar scintigraphy and gamma-camera – SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) Notions about the phenomenon of nuclear magnetic resonance – NMR Tomography: pulse sequences and image reconstruction – Equipment with superconducting magnet: technology and associated risks. Shielding of radiological plants equipped with X- and γ -ray sources.

APPLICAZIONI DELLA FISICA DEI NEUTRONI 6 CFU

Docente: Marco Tardocchi

Contenuti:

La fisica dei neutroni e le sue applicazioni:

Il neutrone come particella elementare. Sorgenti di neutroni. Rivelazione di neutroni. Scattering del neutrone. Neutroni per lo studio della materia condensata. Strumentazione avanzata per spettroscopia neutronica di plasmi da fusione. Neutroni ed energia nucleare. Seminario/esercitazioni pratiche sui codici di simulazione Monte Carlo.

Testi di riferimento:

G. F. Knoll, "Radiation detection and measurement"

K. S. Krane, "Introductory nuclear physics"

C.G. Windsor, "Pulsed neutron scattering"

G. L. Squires, "Introduction to the theory of thermal neutron scattering"

Materiale vario che verrà fornito dal docente: articoli e fotocopie di dispense

Obiettivi: Il corso introduttivo si propone di descrivere l'interazione del neutrone con la materia, la sua rivelazione e le applicazioni della fisica dei neutroni. dai neutroni termici usati come sonda per lo studio della materia condensata, ai neutroni veloci della fissione e della fusione termonucleare controllata. La spettroscopia dei neutroni dei plasmi di fusione viene approfondita con buon dettaglio. Il corso si conclude con una serie di lezioni mirate a mostrare esempi pratici di simulazioni Monte Carlo per risolvere problemi legati al trasporto dei neutroni.

Prerequisiti: laurea triennale

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU), Attività seminariali (4 ore)

Periodo semestre: primo semestre

Altre informazioni: Sul sito web del dipartimento, alla pagina <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona>, è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: orale

Valutazione dell'esame: voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

1. Il neutrone come particella elementare:

Scoperta del neutrone (lettura articolo nature di Chadwick+altri lavori). Principali proprietà del neutrone. Sorgenti di neutroni. (radioisotopi, generatori DT, sorgenti a spallazione impulsate).

2. Rivelazione di neutroni:

Reazioni nucleari dirette, nucleo composto, risonanze. Sezioni d'urto neutroniche. Metodi per la rivelazione di neutroni lenti. Metodi per la rivelazione di neutroni veloci e spettroscopia.

3. Scattering del neutrone:

Scattering dei neutroni in potenziale centrale. Scattering elastico e diffrazione alla Bragg. Scattering inelastico.

4. Neutroni per lo studio della materia condensata:

Diffrazioni da cristalli. Spettroscopia neutronica. Strumentazione per esperimenti di scattering.

5. Strumentazione avanzata per spettroscopia neutronica di plasmi da fusione:

MPR, TOFOR e derivazione random coincidence background.

6. Neutroni ed energia nucleare:

Derivazione formula semiempirica dell'energia di legame del nucleo. Fissione nucleare. Moderazione dei neutroni, letargia. Trasporto e diffusione dei neutroni. Il reattore a fissione: formula dei 4 fattori, esempi di reattori, problema di scorie radioattive. Fusione termonucleare magnetica. Derivazione del criterio di Lawson e bilancio energetico. Particelle alfa e Q valore. Fusione termonucleare a confinamento inerziale: criterio di Lawson, spettro dei neutroni e diagnostiche neutroniche.

Visone Film: "I ragazzi di via Panisperna"

7. Seminario/esercitazioni pratiche sui codici di simulazione Monte Carlo:

Soft Error causati dall'interazione dei neutroni atmosferici.

APPLICATION OF NEUTRON PHYSICS 6 CFU

Lecturer: Marco Tardocchi

Contents: Neutron physics and its applications

References:

G. F. Knoll, "Radiation detection and measurement"

K. S. Krane, "Introductory nuclear physics"

C.G. Windsor, "Pulsed neutron scattering"

G. L. Squires, "Introduction to the theory of thermal neutron scattering"

Aims: The course aim to describe the interaction of neutrons with matters, its detection and application of neutron physics, from the use of thermal neutrons as probe to study condensed matter studies to nuclear fission and fusion. Focus will be given on the spectroscopy of thermonuclear plasma. The course end with some practical exercise on the use of monte carlo codes for the study of neutron transport.

Prerequisites: bachelor

Teaching form: Lessons (6 CFU), Tutorials (4 hours)

Semester: first semester

More information: Informations about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on this page of the Department website <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona>.

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

1. The neutron as elementary particle:

Discovery of the neutron. Main properties of the neutron. Neutron sources.

2. Neutron detection:

Direct nuclear reactions, compound nucleus, resonance. Neutron cross sections. Methods for the detection of slow neutrons. Methods for the detection of fast neutrons and spectroscopy.

3. Neutron Scattering:

Neutron Scattering in centra. Potential. Elastic scattering and diffraction at the Bragg. Inelastic scattering.

4. Neutrons for the study of condensed matter:

Diffraction by crystals. Neutron spectroscopy. Instrumentation for scattering experiments.

5. Advanced instrumentation for neutron spectroscopy of fusion plasmas:

MPR, TOFOR, derivation of random coincidence background.

6. Neutron and Nuclear Energy:

Derivation of the semiempirical formula for binding energy of the nucleus. Nuclear fission. Neutron moderation, lethargy. Transport and neutron scattering. The fission reactor: the 4-factor formula, examples of reactors, radioactive waste problem. Magnetic thermonuclear fusion. Derivation of the Lawson criterion and energy balance. Alpha particles and Q value. Thermonuclear fusion, inertial confinement: Lawson criterion, diagnostic spectrum of neutrons and neutron. Movie: "I ragazzi di Panisperna".

7. Seminar/practical exercises on Monte Carlo simulation codes for neutron transport:

Soft errors caused by the interaction of atmospheric neutrons.

ASTROFISICA RELATIVISTICA

6 CFU

Docente: Monica Colpi

Contenuti: 1) Percorso storico verso la formulazione della Relatività Generale. 2) Elementi di Relatività Speciale in contesto astrofisico e nozione di spaziotempo. 3) Origine della Gravità e sua descrizione in termini di curvatura dello spaziotempo. 4) Onde gravitazionali e tessitura dello spaziotempo. 5) Applicazioni astrofisiche della Relatività Generale: stelle collassate e buchi neri. 6) Evoluzione cosmica dei buchi neri. 7) L'universo in onde gravitazionali 8) Elementi di Cosmologia

Testi di riferimento: 1) A first course of General Relativity, B. Schutz; 2) Gravitation and Cosmology, S. Weinberg; 3) Black holes, white dwarfs and neutron stars: the physics of compact objects, S. Shapiro and Teukolsky. 4) Gravitational Waves, M. Maggiore. 5) Living Reviews in General Relativity

Obiettivi: Conoscenza dei principi fondamentali della Relatività Generale e sue importanti applicazioni in ambito astronomico e in contesto cosmologico

Prerequisiti: Corsi del Triennio

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU)

Periodo semestre: I semestre

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.unimib.it/monica-colpi> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma: 1) Percorso storico verso la formulazione della Relatività Generale: il principio di equivalenza debole e la sua estensione dovuta ad Einstein. 2) Relatività speciale: spaziotempo, trasformazioni di Lorentz, quadrivettori e tensori, invarianti relativistici, massa-energia, dinamica di particelle in campi non gravitazionali. 3) Relatività Generale: derivazione delle equazioni di campo: teoria in campo debole, onde gravitazionali. 4) Metrica di Schwarzschild: geodetiche, precessione di Mercurio, geodetiche nulle e deflessione della luce, redshift gravitazionale. 5) Buchi neri di Kerr: astrofisica dei buchi neri, accrescimento su buchi neri, osservazioni astronomiche, evoluzione cosmica dei buchi neri, formazione di buchi neri in contesto astrofisico. 6) Stelle relativistiche: stelle di neutroni, pulsar binarie, stelle supermassicce. 7) Sorgenti astrofisiche di onde gravitazionali e loro rivelazione. 8) Elementi di Cosmologia: l'espansione dell'universo e la metrica di Robertson Walker.

RELATIVISTIC ASTROPHYSICS

6 CFU

Lecturer: Monica Colpi

Contents: 1) The path toward the formulation of General Relativity (GR); the weak equivalence principle and the Einstein equivalence Principle. 2) Special Relativity in the astrophysical context and the notion of spacetime. 3) Origin of gravitation and its description in terms of spacetime curvature. 4) Gravitational waves and the texture of spacetime. 5) Astrophysical applications of General Relativity: collapsed stars and black holes. 6) Cosmic evolution of the black hole population. 7) The universe in gravitational waves. 8) Basic elements of Cosmology

References: A first course of General Relativity, B. Schutz; 2) Gravitation and Cosmology, S. Weinberg; 3) Black holes, white dwarfs and neutron stars: the physics of compact objects, S. Shapiro and Teukolsky. 4) Gravitational Waves, M. Maggiore. 5) Living Reviews in General Relativity

Aims: Knowledge of the basic principles of General Relativity and its fundamental application in Astrophysics.

Recommended knowledge: Undergraduate Degree in Physics

Teaching form: Lessons, 8 credits

Semester: first semester

More information: Information about the teacher's c.v. and e-mail can be found on the website: <https://www.unimib.it/monica-colpi>

Examination type: Oral examination

Mark range: 18 – 30/30

Syllabus:

1) Einstein's path toward the formulation of General Relativity: the weak equivalence principle and its extension by Einstein. 2) Special Relativity: spacetime, Lorentz boost, quadrivectors and tensors, relativistic invariants, mass-energy equivalence, dynamics of particles in non-gravitating fields, Doppler effects. 3) General Relativity: derivation of the field equations, the weak field limit, gravitational waves. 4) The Schwarzschild metric: geodesic equations, Mercury's precession, null geodesics and light bending, gravitational redshift. 5) Kerr black holes: astrophysics of black holes, accretion onto black holes, astronomical observations of black holes, black hole seed formation. 6) Relativistic stars: neutron stars, binary pulsars and supermassive stars and their stability. 7) Astrophysical sources of gravitational waves and their detection. 8) Basic concepts of Cosmology: the expanding universe and the Robertson Walker metric.

ASTROFISICA STELLARE

8 CFU

Docente: Monica Colpi

Contenuti: Introduzione alla fisica stellare: formazione, struttura ed evoluzione.

Testi di riferimento:

Prialnik, "Stellar structure and evolution"

Phillips, "The Physics of Stars"

Kippenhahn and Weigert, "Stellar structure and evolution"

Stahler and Palla, "The formation of stars"

Shapiro and Teukolsky, "Black holes, white dwarfs and neutron stars"

Colpi et al., "Physics of relativistic objects in compact binaries: from birth to coalescence"

Obiettivi: Acquisizione delle nozioni base sull'astrofisica stellare che trovano vasta applicazione negli studi sulla formazione ed evoluzione delle galassie. La fisica stellare rappresenta il punto di riferimento, cardine per il proseguimento degli studi avanzati in ambito astrofisico e cosmologico.

Prerequisiti: Analisi Matematica, Meccanica, Elettromagnetismo, Struttura della Materia, Meccanica Quantistica

Modalità didattica: Lezione frontale (8 cfu), Questo insegnamento sarà tenuto in inglese

Periodo semestre: Primo semestre

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.unimib.it/monica-colpi> è possibile trovare le informazioni sul CV del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18/30-30/30

Programma:

Equilibrio stellare. Tempi-scala dell'evoluzione stellare. Termodinamica dei gas classici e quantistici. Processi radiativi: emissione di corpo nero, opacità nell'interno stellare, trasporto. Reazioni nucleari: effetto tunnel, energia di Gamov, combustione degli elementi e formazione dei metalli. Stelle sulla sequenza principale: relazioni di scala, massa massima e minima. Stelle degeneri: massa di Chandrasekhar. Evoluzione fuori dalla sequenza principale: giganti rosse e nebulose planetary, AGB e supernovae. Collasso gravitazionale: fisica del neutrino e deleptonizzazione. Oggetti collassati: nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri. Evoluzione stellare nei sistemi binari. Pulsar e sorgenti X. Cenni sulla formazione stellare. Massa di Jeans: protostelle e popolazioni stellari. Funzione di massa iniziale.

STELLAR ASTROPHYSICS

8 CFU

Lecturer: Monica Colpi

Contents: Introduction to the physics of stars, from their formation to their structure and evolution

References:

Prialnik, "Stellar structure and evolution"

Phillips, "The Physics of Stars"

Kippenhahn and Weigert, "Stellar structure and evolution"

Stahler and Palla, "The formation of stars"

Shapiro and Teukolsky, "Black holes, white dwarfs and neutron stars"

Colpi et al., "Physics of relativistic objects in compact binaries: from birth to coalescence"

Aims: Provide the tools for understanding the physics of stars, first step for understanding the formation and evolution of galaxies through cosmic ages.

Prerequisites: Calculus, Classical Mechanics, Electromagnetism, Condensed Matter, Quantum Mechanics

Teaching form: Front lectures, This course will be taught in English

Semester: First semester

More information: Information about the teacher's C.V., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website <https://www.unimib.it/monica-colpi>.

Examination type: Oral examination

Mark range: 18/30 – 30/30

Syllabus:

Stellar equilibria. Timescales along stellar evolution. Thermodynamics of classical and quantum fluids. Radiative processes: black body, opacity and transport. Nuclear reactions: quantum tunneling, Gamov's energy, synthesis of the heavy elements. Stars on the main sequence: scaling relations, maximum and minimum mass. Degenerate stars: Chandrasekhar limiting mass. Stellar evolution beyond the main sequence: red giant phase and planetary nebulae, AGB and supernovae. Gravitational collapse: neutrino emission and deleptonisation. Compact objects as relics of stars:

White dwarfs, neutron stars and black holes. Stellar evolution in binary systems. Pulsars and X-ray sources. Star formation and the Jean's mass:

Proto-stars and populations. Initial mass function.

ASTRONOMIA EXTRAGALATTICA

6 CFU

Docente: Massimo Dotti

Contenuti: Dinamica galattica. Introduzione a simulazioni numeriche a N-corpi. Introduzione alla fisica degli ammassi di galassie.

Testi di riferimento:

Galactic Dynamics - Binney & Tremaine – Princeton series in Astrophysics

Obiettivi: Conoscenza della struttura delle galassie. Comprensione delle leggi alla base della dinamica di sistemi stellari complessi. Derivazione analitica e numerica di potenziali a partire da distribuzioni di materia. Analisi di funzioni di distribuzione in sistemi ad elevata simmetria. Comprensione dei processi secolari di evoluzione dinamica di galassie e altre strutture stellari. Conoscenza e utilizzo di tecniche di simulazione numeriche.

Prerequisiti: Corsi del triennio

Modalità didattica: - Lezione frontale

Periodo semestre: Primo semestre

Altre informazioni: Sul sito <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persone> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Esame orale.

Valutazione dell'esame: 18-30/30

Programma:

Introduzione alla dinamica galattica e ripasso del problema a due corpi. Introduzione ai codici a N-corpi diretti. Teoria dei potenziali. Simulazione del collasso di una sfera omogenea. Introduzione alle galassie: morfologia e dinamica. Introduzione ai codici ad albero. Orbite in potenziali sferici e assisimmetrici. Introduzione al parametro di Toomre e simulazione della frammentazione di un disco stellare. Introduzione alla funzione di distribuzione. Equazione di Boltzmann non collisionale. Equazioni di Jeans e del viriale. Teorema di Jeans. Derivazione di funzioni di distribuzione per sistemi a simmetria sferica. Simulazione di una sfera di Plummer all'equilibrio. Processi di rilassamento. Tempo di rilassamento a due corpi. Frizione dinamica. Introduzione alla fisica degli ammassi di galassie.

EXTRAGALACTIC ASTRONOMY

6 CFU

Lecturer: Massimo Dotti

Contents: Galactic dynamics. Introduction to N-body numerical simulations. Introduction to the physics of galaxy clusters.

References:

Galactic Dynamics - Binney & Tremaine – Princeton series in Astrophysics

Aims: Knowledge of the structure of galaxies. Comprehension of the fundamentals of the dynamics of complex stellar systems. Analytical and numerical derivation of gravitational potentials generated by mass distributions. Distribution function analysis for highly-symmetric systems. Understanding of the dynamical secular processes driving the evolution of galaxies and other stellar structures. Knowledge and usage of numerical simulation techniques.

Prerequisites: Undergraduate degree in physics

Teaching form: -Lessons

Semester: First semester

More information: Informations about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona>

Examination type: Oral exam

Mark range: 18-30/30

Syllabus:

Introduction to galactic dynamics. The two body problem. Introduction to direct N-body codes. Potential theory. Simulation of the collapse of a homogeneous sphere. Introduction to galaxies: morphology and dynamics. Introduction to tree-codes, Orbits in spherical and axisymmetric potentials. Introduction to the Toomre parameter and simulation of a stellar disc fragmentation. Introduction to the distribution function. Collisionless Boltzmann equation. Jeans and virial equations. Jeans theorem. Derivation of the distribution functions for spherically symmetric systems. Simulation of a Plummer sphere in equilibrium. Relaxation processes. Two-body relaxation time. Dynamical friction. Introduction to the physics of galaxy clusters.

BIOFOTONICA

6 CFU

Docente: Maddalena Collini

Contenuti: Spettroscopia di assorbimento, Dicroismo circolare, Spettroscopia di fluorescenza e numerose applicazioni. Spettroscopia di Correlazione di Fluorescenza applicati allo studio di sistemi biologici.

Testi di riferimento:

Cantor e Schimmel “Biophysical Chemistry” vol.2

Lakowicz “Principles of Fluorescence Spectroscopy”

Parson “Modern Optical Spectroscopy”

Articoli di riviste internazionali consigliati dal docente

Obiettivi: Illustrazione delle principali tecniche spettroscopiche per caratterizzare biosistemi

Prerequisiti: Conoscenze di meccanica quantistica e struttura della materia acquisite nella laurea triennale.

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU), Attività seminariale (6 ore), Questo insegnamento sarà tenuto in inglese

Periodo semestre: I°, 1° semestre

Altre informazioni: Sul sito web:

<https://www.unimib.it/maddalena-collini> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: orale

Valutazione dell'esame: voto in trentesimi 18 –30 / 30

Programma:

Interazione radiazione uv-visibile con biomolecole dallo stato fondamentale: spettroscopia di assorbimento, dicroismo circolare.

Spettroscopia di fluorescenza: statica, dinamica.

Effetto del rilassamento del solvente, fenomeni di quenching.

Fenomeno del FRET (trasferimento energetico) fra due fluorofori e applicazioni alla microscopia.

Anisotropia della fluorescenza, effetto della forma della biomolecola.

Spettroscopia di correlazione della fluorescenza. Estensione a metodi correlativi su immagini acquisite al microscopio ottico: RICS, TICS e analoghe per misure diffusive e di flusso in cellule e organismi viventi.

BIOPHOTONICS

6 CFU

Lecturer: Maddalena Collini

Contents: Absorption spectroscopy, Circular Dichroism, Fluorescence Spectroscopy and several applications. Fluorescence correlation spectroscopy applied to the investigation of biological systems.

References:

Cantor e Schimmel “Biophysical Chemistry” vol.2

Lakowicz “Principles o Fluorescence Spectroscopy”

Parson “ Modern Optical Spectroscopy”

Selected scientific papers on the teacher’s advice.

Aims: Introduction to the main spectroscopic techniques for studying biosystems.

Prerequisites: Knowledge of the basic concepts of quantum mechanics atomic physics achieved during the bachelor degree.

Teaching form: Lessons (6 CFU), Tutorials (6 hours), This course will be taught in English

Semester: first semester

More information: Information about the teacher’s c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website <https://www.unimib.it/maddalena-collini>

Examination type : oral examination

Mark Range: 18–30 / 30

Syllabus:

UV-Visible radiation interaction with biomolecules at the fundamental state: absorption spectroscopy, circular dichroism .

Fluorescence spectroscopy, static and dynamic point of view .

Solvent relaxation, fluorescence quenching.

FRET (fluorescence energy transfer) process between two fluorophores and its application to microscopy.

Fluorescence anisotropy, Molecular shape effect.

Fluorescence correlation spectroscopy. Extension to image correlation spectroscopy on images acquired by an optical microscope. RICS, STICS and related techniques to detect diffusion and flows in cells and living organisms.

ASTROFISICA APPLICATA

6 CFU

Docente: Da Definire

Contenuti: 1) Getti relativistici e fisica degli oggetti compatti
2) Gamma Ray Bursts e Supernovae
3) Active Galactic Nuclei
4) Analisi temporale e spettrale di sorgenti X e Gamma

Testi di riferimento:

Dispense e appunti distribuiti durante il corso. Testo di riferimento: M.S. Longair “High Energy Astrophysics”, Cambridge University Press

Obiettivi: Astrofisica relativistica, Gamma Ray Bursts, AGN. Applicazioni pratiche di analisi e interpretazione di osservazioni X e gamma di sorgenti astrofisiche.

Prerequisiti: I corsi del triennio.

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU)

Periodo semestre: Secondo semestre

Altre informazioni:

Modalità dell'esame: Esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18–30/30

Programma:

- 1) Introduzione alle sorgenti X e Gamma galattiche ed extragalattiche. Cenni ai fondi X e gamma.
- 2) Fenomenologia dei lampi di raggi gamma e modello standard. Fase prompt fase di afterglow – Dinamica della fireball e processi di emissione. Recenti sviluppi e problematiche.
- 3) Supernovae core collapse. Fenomenologia della fase esplosiva e dell'espansione non relativistica.
- 4) Fisica dell'emissione X degli AGN e delle binarie galattiche.
- 5) Dai dati alla fisica:
 - Analisi di proprietà di popolazione. Studio della correlazione fra osservabili con riferimento ad una classe di sorgenti studiata.
 - Estrazione, analisi ed interpretazione di curve di luce X di sorgenti transienti. Caratterizzazione della variabilità, spettro di potenza e lag temporali.
 - Estrazione, analisi ed interpretazione di spettri di sorgenti X. Studio ed estrazione dei parametri fisici dal modello in riferimento ad una delle classi di sorgenti studiate.
- 6) Pianificazione di una proposta osservativa con satelliti X (transiente o variabile). Cenni all'uso dei database per le ricerche bibliografiche in campo astrofisico.

PRACTICAL ASTROPHYSICS

6 CFU

Lecturer: To be defined

Contents: 1) Relativistic jets and the physics of compact objects
2) Gamma Ray Bursts and Supernovae
3) Active Galactic Nuclei
4) Temporal and spectral analysis of X-ray and Gamma-ray sources

References:

Lecture notes will be distributed during the course. For general reference: M. S. Longair “High Energy Astrophysics”, Cambridge University Press.

Aims: Relativistic astrophysics with focus on Gamma Ray Bursts, Supernovae and Active Galactic Nuclei. Practical analysis of samples of sources (statistical methods) and X-ray temporal and spectral data analysis and interpretation.

Recommended knowledge: Undergraduate degree in physics.

Teaching form: Lessons (6 CFU)

Semester Second semester

More information:

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

- 1) Introduction to X and Gamma ray galactic and extragalactic sources (with some notes on the corresponding diffuse backgrounds)
- 2) Observational and theoretical aspects of Gamma Ray Bursts. Prompt and afterglow phases – Fireball dynamics and emission processes. Recent developments and issues.
- 3) Core collapse Supernovae. Explosive phase and non relativistic expansion.
- 4) Physical aspects of the X-ray emission of AGN and galactic binaries.
- 5) From the data to the physics behind:
 - Population analysis. Correlation analysis of observables with reference to one of the classes of sources studied during the course
 - Extraction, analysis and interpretation of time series (light curves) of X-ray transients. Variability, power density spectrum and temporal lags.
 - Extraction, analysis and interpretation of spectra of X-ray sources. Study of physical parameters from the model
- 6) Group study, planning and discussion and presentation of a relativistic proposal for the observation of an X-ray source.

COSMOLOGIA

6 CFU

Docente: Dotti Massimo

Contenuti: Cosmologia classica, modelli di Friedman. Radiazione cosmica di fondo. Nucleosintesi cosmologia. Inflazione.

Testi di riferimento:

B. Ryden, "Introduzione alla cosmologia"

Obiettivi: Conoscenza della struttura dell'universo e delle principali fasi nell'evoluzione cosmica dal big bang alla radiazione cosmica di fondo

Prerequisiti: I contenuti dei corsi di matematica e fisica della laurea di primo livello.

Modalità didattica: Lezioni frontali (6 CFU), Questo insegnamento sarà tenuto in inglese

Periodo semestre: Secondo semestre

Altre informazioni: Sul sito web del dipartimento, alla pagina <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona>, è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Esame Orale.

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma: Isotropia e omogeneità dell'Universo su grande scala. Legge di Hubble. Metrica di Robertson Walker. Equazioni di Friedman e modelli di Friedman. Misura dei parametri cosmologici. Problemi del modello standard di Big Bang e la soluzione proposta dal modello inflazionario. Nucleosintesi cosmologica. Ricombinazione. Radiazione cosmica di fondo..

COSMOLOGY

6 CFU

Lecturer: Dotti Massimo

Contents: Classical cosmology, Friedman models. Cosmic microwave background. Cosmological nucleosynthesis. Inflation.

References:

B. Ryden, "Introduzione alla cosmologia"

Aims: Knowledge of the structure of the Universe and of the main stages of the cosmic history, from the big bang to the cosmic microwave background.

Prerequisites:

Mathematics and Physics for undergraduates

Modalità didattica: Lessons (6 CFU), This course will be taught in English

Periodo semestre: Second semester

More information:

Information about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website: <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona>

Examination type: Oral examination

Mark range: 18-30/30

Syllabus: Large scale homogeneity and isotropy of the Universe. The Hubble law. The Robertson Walker metric. The Friedmann Equation and Friedmann models. Measures of the cosmological parameters. Problems in the standard Big bang model and the inflation solution. Cosmic nucleosynthesis, Recombination. Cosmic microwave background.

ELETTRONICA

6 CFU

Docente: Gianluigi Ezio Pessina

Contenuti: Criteri di progettazione basati sull'uso di amplificatori reazionati (stabilità e rumore). Introduzione all'uso dei transistori nei circuiti a basso rumore. Criteri di filtraggio per l'ottimizzazione del rapporto segnale su rumore. Applicazioni alla lettura di segnali da rivelatori di particelle.

Testi di riferimento:

S. Franco, "Amplificatori operazionali e circuiti integrati analogici: tecniche di progetto, applicazioni", U. Hoepli, c1992;

S. Franco, "Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits", McGraw-Hill, 2002,;

Van der Ziel, "Noise in solid state devices and circuits", John Wiley & Sons, New York;

M. Shur, "Physics of Semiconductors Devices", Prentice Hall 1990;

Dispense del corso sulla pagina web <http://pessina.mib.infn.it>

Obiettivi: Fornire gli strumenti base per potere realizzare progetti di amplificatori, anche a basso rumore, basati sull'impiego di Amplificatori Operazionali. Introduzione alla metodologia d'uso dei transistor nelle applicazioni a basso rumore. Il corso è indicato allo studente di fisica interessato ad un qualsiasi indirizzo sperimentale.

Prerequisiti: Principali Nozioni di Fisica di base classica: Eletticità e Magnetismo.

Modalità didattica: Lezioni frontali con esercitazioni (6 CFU)

Periodo semestre: Secondo semestre

Altre informazioni: Riferimenti web:

<http://fisica.mib.infn.it/pages/it/chi-siamo/persona/who.php?user=pessina>,

<https://www.fisica.unimib.it/it/ricerca/elettronica-e-fisica-applicata>,

<http://pessina.mib.infn.it>,

<https://elearning.unimib.it/course/info.php?id=19702>

Modalità dell'esame: Scritto e Orale.

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Il concetto di amplificatore, l'amplificatore operazionale. Il concetto di reazione negli amplificatori. Come valutare tutti i parametri che caratterizzano un amplificatore reazionato. L'analisi nel dominio delle frequenze dei segnali analogici mediante trasformate di Fourier e Laplace. La stabilità di una rete reazionata ed i criteri di compensazione. Il concetto di rumore e la soluzione di reti lineari in presenza di rumore. Il concetto del rapporto segnale su rumore. Il preamplificatore di carica e la formatura di un segnale proveniente da un rivelatore nucleare di particelle.

Accenni alla fisica dei semiconduttori come introduzione ai transistori bipolari, JFET e MOS. Il rumore nei transistori e la loro modellizzazione matematica. Realizzazione di circuiti a transistori a basso rumore. Il preamplificatore di carica in varie topologie circuitali. Vengono fornite le nozioni di base necessarie alla progettazione di Amplificatori Operazionali: stadio di ingresso, stadio di amplificatore intermedio, stadio di uscita e le più classiche protezioni elettriche.

Analisi del comportamento di dispositivi elettronici a temperature estremamente basse, criogeniche, ed in ambienti altamente radioattivi in relazione agli esperimenti sullo studio della massa del neutrino e della materia oscura e nel contesto della fisica con acceleratori.

ELECTRONICS

6 CFU

Lecturer : Gianluigi Ezio Pessina

Contents: Design criteria with feedback amplifiers with (stability and noise). Introduction to the use of transistors in low noise circuits. Filtering criteria for the optimization of the signal to noise ratio. Applications to the readout of signals from particle detectors.

References:

S. Franco, Amplificatori operazionali e circuiti integrati analogici : tecniche di progetto, applicazioni, U. Hoepli, c1992;

S. Franco, Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits, McGraw-Hill, 2002, C. Biblio 621.3815 FRAS.DES/2002;

Van der Ziel, Noise in solid state devices and circuits, John Wiley & Sons, New York;

M.Shur, Physics of Semiconductors Devices, Prentice Hall 1990;

Slides available on the web page (<http://pessina.mib.infn.it>)

Aims: The student is given the basic instruments to be able to design analog amplifiers, also for low noise applications. An introduction is given to the transistors operation in low noise circuits. Filtering for optimization of signal to noise ratio. The lecturers are for students in physic that are particularly interested in the experimental field.

Prerequisites: Notions on classical Physics: Electricity and Magnetism

Teaching form: Written Excercises and Oral Discussion, 6 cfu

Semester: Second semester

More information: On the WEB:

<http://fisica.mib.infn.it/pages/it/chi-siamo/persone/who.php?user=pessina>,

<https://www.fisica.unimib.it/it/ricerca/elettronica-e-fisica-applicata>,

<http://pessina.mib.infn.it>,

<https://elearning.unimib.it/course/info.php?id=19702>

Examination type: Discussion of the report about the laboratory experiences.

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

The concept of amplifier, the Operational amplifier. The concept of feedback of an amplifier. The mathematical approach t to the determination of all the aspects that concern a feedbacked amplifier. The frequency domain analysis of the signals with Fourier and Laplace Transforms. The stability of a feed backed network and the compensation criteria. The noise in the electronic systems and the analysis of the noise in linear networks. The concept of the signal t to noise ratio. The charge sensitive preamplifier and the shaping of the signals coming from a nuclear detector of particles. A short introduction to the physic of semiconductors applied to Bipolar, JFET and MOS transistors. The mathematical modeling and the noise sources in transistors. Transistors in low noise circuits. Circuit solutions for charge sensitive preamplifiers. A study is given on the basic blocks of Operational Amplifiers: input stage, intermediate stage, output stage and the more common electrical protections.

Investigation of the behaviour of electronics devices at extremely low temperatures, cryogenic temperatures, and in radioactive environments in the contest of experiments about neutrino physics and dark matter and the physics with accelerators.

ENERGETICA

6 CFU

Docente: Carlo Sozzi

Contenuti: Principali fonti di energia, utilizzo e impatto

Testi di riferimento: Appunti delle lezioni

Obiettivi: Conoscenza delle risorse energetiche: disponibilità ed utilizzo.

Prerequisiti: Conoscenze di termodinamica dalla laurea di primo livello.

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU), Attività seminariali (6 ore)

Periodo semestre: Secondo semestre

Modalità dell'esame: Orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Relazione energia-materia; rilascio di energia nei combustibili molecolari e nucleari. Relazione tra radiazione EM e altre forme di energia. Fonti primarie di energia. Combustibili fossili. Effetto serra e buco dell'ozono. Il petrolio come risorsa finita e picco di produzione. Biomassa. Principi di termodinamica. Termodinamica tecnica. Cicli termodinamici con esempi quantitativi. Combustibili nucleari e rilascio di energia. Fisica e pratica del reattore a fissione. Reattori a fusione e ibridi. Energia idroelettrica. Energia eolica. Generazione e trasmissione della potenza elettrica. Energia solare. Energia geotermica.

ENERGY PHYSICS

6 CFU

Lecturer: Carlo Sozzi

Contents: Main energy sources, their use and impact

References: Lecturer notes

Aims: Knowledge of energy sources, their availability and usage

Prerequisites: First degree level knowledge of thermodynamics.

Teaching form: Lessons (6 CFU), Tutorials (6 hours)

Semester: Second semester

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

Relationship between energy and matter; energy releasing processes in molecular and nuclear fuels. Relationship between EM radiation and other forms of energy. Primary energy sources. Fossil fuels. The green-house effect and the ozone hole. The finite petroleum resource and time for peak oil production. Biomass Technical thermodynamics: principle of system cycles and quantitative examples Nuclear fuels and energy release. Fission reactor physics and practice. Fusion reactor physics and concept incl. hybrids Hydro power. Wind power. Electric power generation and transmission. Solar power. Geo-thermal energy.

FISICA DEI PLASMI I

6 CFU

Docente: Claudia Riccardi

Contenuti: Fondamenti della fisica dei plasmi: descrizioni cinetica e fluida del plasma, interazione onde-plasma, magnetoidrodinamica e instabilità; applicazioni.

Testi di riferimento:

R. J. Goldston, Introduction to Plasma Physics

M. A. Liebermann, Principles of plasma discharges and material processing, Wiley Interscience

Obiettivi: Insegnamento dei fondamenti della fisica dei plasmi: descrizioni cinetica e fluida del plasma, interazione onde-plasma, magnetoidrodinamica e instabilità; applicazioni.

Prerequisiti: Nessuno

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU), Attività seminariali (6 ore)

Periodo semestre: Primo semestre

Altre informazioni:

Sul sito web <https://www.unimib.it/claudia-riccardi> è possibile trovare le informazioni sul CV del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma: Descrizioni cinetica e fluida del plasma: La funzione di distribuzione; L'equazione di Vlasov; I momenti della funzione di distribuzione; Le equazioni fluide; Dalla MHD alla descrizione statistica: le scale spaziali e temporali. Onde nei plasmi: Onde in plasma non magnetizzato; Oscillazioni di Langmuir; Onde trasversali elettromagnetiche; Gli effetti di pressione; Onde in un plasma magnetizzato: cenni alla propagazione perpendicolare e parallela; La polarizzazione delle onde nel plasma; Onde in un plasma con velocità di deriva: instabilità a due fasci. Descrizione Cinetica, Landau Damping. Magnetoidrodinamica e instabilità: MHD, cenni alle Instabilità sausage e instabilità Kink; Instabilità di Rayleigh-Taylor per i fluidi e per un plasma; Applicazioni dei plasmi: Sorgenti e processi a plasma.

PLASMA PHYSICS I

6 CFU

Lecturer: Claudia Riccardi

Contents: Fundamental plasma physics: kinetic and fluid descriptions of plasmas, waves-plasma interactions, magneto-hydro-dynamics and instabilities, plasma applications.

References: R. J. Goldston, Introduction to Plasma Physics

M. A. Liebermann, Principles of plasma discharges and material processing, Wiley Interscience

Aims: Teaching fundamental plasma physics: kinetic and fluid descriptions of plasmas, waves-plasma interactions, magneto-hydro-dynamics and instabilities, plasma applications.

Prerequisites: None

Teaching form: Lessons (6 CFU), Tutorials (6 hours)

Semester: First semester

More information: Informations about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website <https://www.unimib.it/claudia-riccardi>.

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus: Program details: Kinetic and fluid descriptions of plasma: the distribution function, the Vlasov equation, the moments of the distribution function, the fluids equations, MHD and instabilities: space and time scales. Waves in Plasma: Introduction to the wave propagation in plasma, Linearization of the Maxwell equations and fluids equations; Waves in non magnetised plasma; Langmuir oscillations; Electromagnetic transverse waves; Pressure effects; Waves in a magnetised plasma: perpendicular and parallel propagations; Wave polarisation in plasma; Waves in a drifting plasma: two stream instability. Kinetics description of waves: Landau Damping. MHD and Instabilities: MHD stability; MHD instabilities: Kink and sausage instabilities, Rayleigh-Taylor instability for plasma and fluids; Plasma Applications: Plasma Sources and Applications.

FISICA DEI PLASMI II

6 CFU

Docenti: Massimo Nocente

Contenuti: Introduzione alla fisica del plasma, moto delle cariche in campo magnetico, introduzione ai processi collisionali nel plasma, cenni alla teoria cinetica collisionale, generalità sul processo di fusione termonucleare nei tokamak, principi fisici di alcune tecniche diagnostiche nei tokamak.

Testi di riferimento:

P.M. Bellan, "Fundamentals of Plasma Physics", Cambridge University Press, 2006

J. Freidberg, "Plasma physics and fusion energy", Cambridge University Press, 2007

R.J. Goldston, P. H. Rutherford, "Introduction to plasma physics", IOP publishing, 1995

F. F. Chen, "Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion", 2nd edition

I. H. Hutchinson, "Principles of plasma diagnostics", Cambridge University Press, 2002

Obiettivi: Il corso si propone di introdurre gli studenti alla fisica dei plasmi e della fusione termonucleare.

Prerequisiti: I corsi di matematica e fisica della Laurea Triennale in Fisica.

Modalità didattica: Lezione frontale (4 CFU), Esercitazione (2 CFU), Questo insegnamento sarà tenuto in inglese

Periodo semestre: Primo semestre

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Introduzione alla fisica del plasma: effetti collettivi, interazioni a lungo raggio, concetto di temperatura. Distribuzione di Boltzmann. Parametri di base di un plasma.

Moto delle cariche in campo magnetico: approssimazione di centro guida, costanza del momento magnetico, confinamento di una particella in geometria a specchio e toroidale. Formalismo lagrangiano e costanti esatte del moto. Invarianti adiabatici.

Introduzione ai processi collisionali nei plasmi: Legge di Child-Langmuir, sezioni d'urto, equilibrio coronale. Collisioni con neutri e con ioni. Penetrazione di neutri nel plasma. Richiami sui processi di ionizzazione e scambio carica nei plasmi. Processi con emissione di radiazione. Collisioni coulombiane nei plasmi: elettrone-elettrone, ione-ione, elettrone-ione. Frenamento degli elettroni e radiazione di bremsstrahlung. Descrizione random walk della diffusione. Equazione di diffusione. Diffusione nei gas parzialmente ionizzati. Diffusione nei gas completamente ionizzati.

Cenni alla teoria cinetica collisionale: equazione di Fokker-Planck; frenamento di una particella carica in un plasma; regimi resistivo e runaway; calcolo di alcuni semplici coefficienti di trasporto.

Generalità sul processo di fusione termonucleare nei tokamak: cenni al confinamento del plasma nella configurazione magnetica di tokamak: fattore di sicurezza, orbite. Introduzione alla fusione termonucleare controllata. Sezioni d'urto e rateo di reazione; processi che contribuiscono al riscaldamento e al raffreddamento del plasma da fusione; regimi di operazione di un reattore.

Principi fisici di alcune tecniche diagnostiche nei tokamak: emissione di ciclotrone e cenni alle sue applicazioni diagnostiche. Emissione di neutroni e raggi gamma e cenni alle loro applicazioni diagnostiche.

PLASMA PHYSICS II

6 CFU

Lecturers: Massimo Nocente

Contents: Introduction to plasma physics, charge particle motion in a magnetic field, introduction to collisional processes in plasmas, introduction to the collisional kinetic theory, basics of nuclear fusion in tokamak devices, physics principles of selected diagnostic techniques for tokamak plasmas.

References:

P.M. Bellan, "Fundamentals of Plasma Physics", Cambridge University Press, 2006

J. Freidberg, "Plasma physics and fusion energy", Cambridge University Press, 2007

R.J. Goldston, P. H. Rutherford, "Introduction to plasma physics", IOP publishing, 1995

F. F. Chen, "Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion", 2nd edition

I. H. Hutchinson, "Principles of plasma diagnostics", Cambridge University Press, 2002

Aims: The course aims at providing the students an introduction to plasma physics and thermonuclear fusion.

Prerequisites: Mathematics and physics courses of the Bachelor Degree in Physics.

Teaching form: Lessons (4 credits), Classes (2 credits), This course will be taught in English

Semester: first semester

More information: Information about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website:
<https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persone>

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

Introduction to plasma physics: collective effects, long range interactions, temperature. Boltzmann distribution. Basic plasma parameters.

Charge particle motion in a magnetic field: guiding-centre approximation, conservation of the magnetic momentum, particle confinement in mirror and toroidal geometry. Lagrangian formalism and exact constants of motion. Adiabatic invariants.

Introduction to collisional processes in plasmas: Child-Langmuir law, cross section, coronal equilibrium. Collisions with neutral particles and ions. Penetration of neutral particles in a plasma. Ionization and charge exchange processes in plasmas. Radiation emission processes. Coulombian collisions in a plasma: electron-electron, ion-ion and electron-ion collisions. Electron slowing down and bremsstrahlung radiation. Random walk description of diffusion. Diffusion equation. Diffusion in a weakly and fully ionized gas.

Elements of collisional kinetic theory: Fokker-Planck equation, slowing down of a charged particle in a plasma; resistive and runaway regimes; calculation of simple transport coefficients.

Introduction to thermonuclear fusion: plasma confinement in a tokamak, safety factor, particle orbits. Controlled thermonuclear fusion: cross sections and reaction rate; heating and cooling processes in a fusion plasma; operational regimes in a nuclear fusion reactor.

Physics principles of selected diagnostic techniques for tokamak plasmas: cyclotron emission and its diagnostic applications. Neutron and gamma-ray emission and their diagnostic application.

FISICA DEI SEMICONDUTTORI

6 CFU

Docente: Marco Fanciulli

Testi di Riferimento:

Obiettivi: Apprendimento dei concetti e delle metodologie più avanzate della fisica dei semiconduttori prerequisiti per la comprensione di diversi aspetti connessi con la nanoelettronica e le nanotecnologie.

Prerequisiti: nessuno

Modalità didattica: lezione frontale

Periodo: 2° semestre

Altre informazioni:

Modalità dell'esame: orale

Valutazione dell'esame: voto

Programma:

Struttura elettronica

Richiami sulla struttura a bande, massa efficace e sua determinazione sperimentale

Approssimazione k-p

Difetti reticolari: proprietà strutturali ed elettroniche

Difetti di punto; droganti; difetti intrinseci; impurezze; complessi.

Difetti "shallow": teoria della massa efficace.

Difetti "deep": funzioni di Green.

Cenni ad alcune tecniche sperimentali per lo studio dei difetti

Distribuzioni in equilibrio

Statistica; termodinamica; densità di stati; distribuzione di buche ed elettroni; semiconduttori intrinseci ed estrinseci, potenziale chimico e livello di Fermi.

Proprietà ottiche

Interazione fotone-elettrone; assorbimento banda-banda; assorbimento eccitonico; assorbimento di portatori liberi; riflettività; assorbimento del reticolo; impurezze. Spettroscopia ottica di impurezze e droganti (Raman, Fotoluminescenza, Fotoionizzazione).

Proprietà di trasporto

Grandezze macroscopiche caratterizzanti il trasporto. Equazione di Boltzmann; funzione di distribuzione; trasporto di carica; processi di scattering, tempi di rilassamento; effetto Hall, magnetoresistenza, effetti di elevato campo elettrico (portatori caldi), resistenza differenziale negativa, effetto Gunn. Semiconduttori in condizioni di equilibrio e di non equilibrio. Generazione, ricombinazione di cariche, deriva e diffusione.

Nanostrutture

Strutture bi-, mono-, zero dimensionali e relative proprietà elettroniche

Semiconduttori Magnetici

Applicazioni

Diodo (giunzione pn), transistor a singolo elettrone SET), giunzione tunnel magnetiche (MTJ)

SEMICONDUCTORS PHYSICS

6 CFU

Lecturer: Marco Fanciulli

Aims: The students should understand the basic concepts related to the structural, electronic, optical and magnetic properties of semiconductors and acquire hands-on capability with some theoretical methods and familiarity with advanced experimental methodologies

Prerequisites: none

Teaching procedure: frontal lessons

Semester: second semester

More information:

Examination: oral

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

The course is devoted to the structural and vibrational properties (crystal structure, symmetry, phonons), electronic properties (band structure, shallow and deep defects, dopants), optical properties, magnetic, and charge and spin transport properties. Appropriate theoretical and experimental methods will be introduced and used to address the different topics previously outlined. The description of the main physical concepts of relevant applications (pn junction, SET, MTJ) complete the picture.

FISICA DELLE PARTICELLE I

6 CFU

Docente: Oliviero Cremonesi

Contenuti: Classificazione delle particelle. Barioni e mesoni. Leptoni. Interazioni e Campi. Adroni. Quarks negli Adroni. Colore. Interazioni dei Quarks e QCD. Interazioni Deboli. Teoria di Fermi. Interazioni Elettrodeboli e modello standard.

Testi di riferimento:

A. Bettini - Introduction to Elementary Particle Physics 2nd Ed. - Cambridge University Press

Obiettivi: Il corso si prefigge di fornire un'introduzione di base alla fisica delle particelle discutendone le proprietà, la classificazione e le principali leggi che ne regolano le interazioni. Il corso sarà corredato di esempi ed esercizi numerici.

Prerequisiti: Conoscenza molto basilare delle principali interazioni delle particelle e loro nomenclatura

Modalità didattica: Lezioni frontali, Esercitazioni

Periodo semestre: I Semestre

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma: Cenni storici

Dalla scoperta dei raggi cosmici agli esperimenti degli anni 50'

Nucleoni, leptoni e mesoni

Il muone ed il pione; mesoni strani e iperoni; i numeri quantici del pione; i leptoni; le antiparticelle

Adroni

Risonanze; risonanze in formazione e produzione; sezioni d'urto $\pi(K)$ -protone; interazioni di stato finale;

Dalitz plot; le risonanze adroniche e gli iperoni; multipletti mesonici e barionici; il puzzle θ - τ ed il Dalitz plot

triangolare; numeri quantici delle risonanze; mesoni pseudo-scalari e vettoriali; SU(3)_f e il modello a quark;

la ω e la η ; la Ω ed il colore; la J/ψ e il charm; la terza famiglia di quark; le particelle Y; il quarkonio.

Interazioni deboli

Classificazione; la costante di Fermi; universalità; diffusione ν -e; ancora θ - τ ; violazione della parità; spinori

di Dirac; chiralità ed elicità; termini di massa; correnti deboli cariche (CC) e neutre (NC); la scoperta delle

NC; elicità del neutrino; decadimento del π ; teoria V-A; particelle strane e angolo di Cabibbo; meccanismo

GIM; CP e mixing dei quark; matrice CKM; fasci di neutrini; sezioni d'urto di neutrino

Il Modello Standard

Invarianza di gauge; derivata covariante e bosoni di Gauge; isospin debole; SU(2)_xU(1) ed il modello

elettrodebole; correnti CC, NC ed elettromagnetica; le costanti di accoppiamento g, e g'; angolo di Weinberg;

le interazioni (vertici) del MS; accoppiamenti CV e CA.

PARTICLES PHYSICS I

6 CFU

Lecturer: Oliviero Cremonesi

Contents: Barions and mesons, leptons. Interactions and fields. Hadrons. Quarks in hadrons. Color. Interactions of quarks and QCD. Weak interactions. Fermi theory. Electroweak interactions and the standard model.

References:

A. Bettini - Introduction to Elementary Particle Physics 2nd Ed. - Cambridge University Press

Aims: The course aims to provide a basic introduction to the physics of particles by discussing their properties and classification scheme and the main laws that govern their interactions. The course will be accompanied by numerical examples and exercises.

Prerequisites: very basic understanding of the particle names and main interactions nomenclature.

Teaching form: Lessons, Classes.

Semester: first semester

More information: At the web page <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona>, you can find the main information about the teacher, his C.V. and telephone number his research activity and his e-mail.

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus: Background:

The first discoveries in the cosmic rays; the experiments of the 50's

Nucleons, leptons and mesons:

The muon and the pion; strange mesons and hyperons; the quantum numbers of the pion; leptons; antiparticles; Hadrons:

Resonances; production and formation; cross sections $\pi(K)$ -proton; interactions in the final state; Dalitz plot; the hadron resonances and hyperons; meson and baryon multiplets; the θ - τ puzzle and the triangular Dalitz plot; quantum numbers of resonances; pseudo-scalar and vector mesons; $SU(3)_f$ and the quark model; the ω and η ; the Ω and color; the J/ψ and charm; the third family of quarks; the Y particles; the quarkonium.

Weak interactions:

Classification; the Fermi constant; universality; ν - e scattering; θ - τ puzzle; parity violation; Dirac spinors; chirality and helicity; mass terms; weak charged (CC) and neutral (NC) currents; the discovery of neutral currents; helicity of the neutrino; pion decay; $V-A$ theory; strange particles and Cabibbo angle; GIM mechanism; CP and quark mixing; CKM matrix; neutrino beams; cross sections of neutrino

The Standard Model:

Gauge invariance; covariant derivative and gauge bosons; weak isospin; $SU(2)_L \times U(1)_Y$ and the electroweak model; charged, neutral and electromagnetic currents; the electroweak coupling constants g and g' ; Weinberg angle; interactions (vertices) of the SM; CV and CA couplings.

FISICA DELLE PARTICELLE II

6 CFU

Docente: Alessio Ghezzi

Programma:

Per la parte di misure di precisione del Modello Standard con i dati di LEP verranno presentati:

- sezione d'urto $e^+ e^- \rightarrow f \text{ anti-}f$ per scambio di Z/γ : $d\sigma/d\Omega$, asimmetrie LR e FB, branching ratio, Breit-Wigner.
- Correzioni radiative QED, collegamento teoria e osservabili sperimentali, cenni ad apparati sperimentali e concetti base delle misure,
- Risultati delle misure sperimentali (σ_h , RI, AFB, Γ_Z , MZ), identificazione di getti da b-quark e misure con getti di b a LEP (R_b e A_b FB). Discussione delle incertezze sulle misure.
- Cenni di rinormalizzazione, discussione dettagliata delle misure di precisione dei parametri sperimentali dello Standard Model (MZ e GF dalla vita media del μ). Correzioni ad un Loop EWK e confronto con misure, nel dettaglio, con limiti sulla massa del bosone di Higgs e sulla massa del quark top.

Per la parte relativa alle collisioni fra adroni si discuterà:

- deep-inelastic-scattering, teorema di fattorizzazione della QCD, introduzione alle parton distribution function (pdf), misura della pdf e loro incertezze.
- Introduzione alle osservabili a collider adronici e differenze con collider $e^+ e^-$
- L'interpretazione delle misure attraverso il confronto con simulazioni MonteCarlo (MC) dei processi e relative incertezze.
- Underlying Event, pile-up, misure per il tuning dei MC
- Misura di luminosità a collider adronici.
- Definizione di jet di adroni, algoritmi di ricostruzione di jet e loro proprietà.
- Esempi di misure dello spettro in PT del jet a Tevatron e dello spettro di massa invariante di coppie di jet, con cenni alla tecnica dell'unfolding.
- misura della massa del bosone W a Tevatron.
- misura della massa del quark top (Tevatron e LHC).
- La fisica del bosone di Higgs, limiti da fit globali del Modello Standard, fenomenologia e ricerca del bosone di Higgs a collider adronici, signature sperimentali e separazione di ipotesi. Scoperta del bosone di Higgs ad LHC: risultati di CMS ed ATLAS per i principali canali di scoperta

Obiettivi: Il corso si propone di fornire agli studenti le nozioni per comprendere ed interpretare le misure di precisione del Modello Standard effettuate al collider $e^+ e^-$ LEP e le misure a collider adronici, con esempi dal collider protone-antiprotone Tevatron e dal collider protone-protone LHC.

Particolare attenzione viene rivolta all'interpretazione delle misure nel quadro attuale della teoria del Modello Standard e all'analisi delle incertezze sulle misure.

Infine vengono dati brevi cenni a nuove teorie che superino il modello attuale e alla possibilità di una loro verifica nel futuro vicino con i dati di LHC.

Prerequisiti: Ci si aspetta che gli studenti abbiano seguito il corso di Fisica delle Particelle I

Modalità didattica: lezione frontale

Periodo semestre: 2° semestre

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

PARTICLE PHYSICS II

6 CFU

Lecturer: Alessio Ghezzi

Syllabus:

For the part concerning the measurements performed at LEP:

- Cross section for $e^+ e^- \rightarrow f \text{ anti-}f$: $d\sigma/d\Omega$, LR and FB, asymmetries branching ratio, Breit-Wigner.
- QED radiative correction, experimental observable at LEP, basics of detectors and measurements
- Results for σ_h , RI, AFB, Γ_Z , MZ, identification of b-quark jets and measure of R_b e AbFB. Detailed discussion of the uncertainties.
- Basics of renormalizations, precise measurement of the Standard Model parameters (MZ e GF from μ lifetime). One Loop EWK corrections in the predictions and comparison with measurements, limits on Higgs and top masses.

For the part concerning the hadron collider:

- deep-inelastic-scattering, factorization in QCD, introduction to parton distribution function (pdf), pdf measurements and uncertainties.
- Experimental observables for hadron colliders
- MonteCarlo (MC) simulation of the processes and their role in the measurements at hadron colliders
- Underlying Event, pile-up, MC tuning
- Measurement of the luminosity at hadron colliders.
- Jets algorithms and their properties.
- Jet PT spectrum and di-jet invariant mass spectrum at Tevatron, unfolding
- W mass measurements at Tevatron.
- top mass measurement at Tevatron and at LHC.

Aims: The course aims to give the fundamental notions to understand the measurements of the Standard Model parameters performed at the $e^+ e^-$ collider LEP, and the measurements at a hadron collider, with examples from the proton-antiproton collider Tevatron e from the proton-proton collider LHC.

In particular the student will learn to relate the experimental measurement with the theory paying attention to the relevant uncertainties. Finally the students will be given a brief mention to theory beyond the SM and their test at the LHC.

Prerequisites: Students are expected to have attended Particle Physics I

Teaching procedure: frontal lessons

Semester:

More information: At the web site <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona>, you can find the main information about the teacher, his C.V. and telephone number his research activity and his e-mail.

Examination: oral

Mark range: 18–30/30

FISICA DELLE PARTICELLE III 6 CFU

Docente: Marta Calvi (4 CFU) - Maura Pavan (2 CFU)

Contenuti: Conoscenze di fisica delle particelle nel settore adronico e leptonic e della fisica del sapore.

Testi di riferimento:

A. Bettini, "Introduction to Elementary Particles Physics", Cambridge University Press

M. Sozzi, "Discrete Symmetries and CP violation. From Experiment to Theory" Oxford University Press

K. Zuber, "Neutrino Physics"

A. Strumia and F. Vissani, "Neutrino masses and mixings and ...", arXiv:hep-ph/0606054

Obiettivi: Fornire una visione panoramica e completa della fenomenologia relativa alla fisica del sapore nei due settori adronico e leptonic, con particolare attenzione agli aspetti sperimentali (feedback che le misure sperimentali hanno dato/danno alla teoria, misure di precisione, ricerca di nuova fisica).

Prerequisiti: Conoscenze di elementi di meccanica quantistica e introduzione alla fisica delle particelle

Modalità didattica: Lezione frontale

Periodo semestre: Il Semestre

Altre informazioni: Sul sito web del dipartimento, alla pagina <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persone>, è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

PARTE I

- Introduzione alla fisica del sapore, motivazioni
- Produzione di heavy flavour da e^+e^- a diverse energie. Y(4S) e B factories. Produzione alla Z0 . Adronizzazione. Esempi di Babar, Belle, Lep.
- Produzione di heavy flavour da collisioni adroniche. Processi elementari. Cinematica.
- Decadimenti di adroni pesanti. Il modello a spettatore.

Esempi di misure di vite medie.

- Le transizioni di sapore e la matrice CKM: introduzione (richiami su Cabibbo, GIM e CKM nel MS).
- Misura dei moduli di CKM da diversi processi. Esempi decadimenti dei K, Daphne
- Decadimenti semileptonici e misure di V_{cb} e V_{ub} . Cenni di HQET.
- Il sistema dei K neutri, oscillazioni, rigenerazione.
- Fenomenologia delle oscillazioni di sapore negli adroni neutri (K, Bd, Bs, D). Misura di V_{td} e V_{ts} .
- Violazione di CP: richiami storici, misure nei K.
- Fenomenologia della CPV nei mesoni carichi e neutri.
- CPV nel mixing, nei decadimenti e nell'interferenza.
- Triangoli di unitarietà . Misura di $\sin 2\beta$. Misura di Γ . Ricerca di CPV nel mixing.
- Invarianza temporale e violazioni di T.
- Decadimenti leptonic degli adroni. FCNC e ricerca di nuova fisica.
- Violazione del sapore leptonic nei leptoni carichi.

PARTE II

- Neutrino di Dirac e di Majorana.
- Estensione del MS a neutrini massivi e fenomenologia che ne deriva: violazione del numero leptonic, oscillazioni.

PARTICLE PHYSICS III

6 CFU

Lecturers: Marta Calvi (4 Credits) - Maura Pavan (2 Credits)

Contents: Complements of particle physics in the hadronic and leptonic sector and in flavour physics

References:

A. Bettini, "Introduction to Elementary Particles Physics", Cambridge University Press

U. Nierste, "Three Lectures on Meson Mixing and CKM phenomenology" arXiv:hep-ph/0904.1869

K. Zuber, "Neutrino Physics"

A. Strumia and F. Vissani, "Neutrino masses and mixings and ...", arXiv:hep-ph/0606054

Aims: Provide a wide overview of flavour physics phenomenology in the hadronic and leptonic sectors. Insight in the experimental aspects (connection between experimental measurements and theory, role of precision measurements, search for new physics).

Prerequisites: basic knowledge of quantum mechanics and basics of particle physics

Teaching form: Lessons

Semester: second semester

More information: Information about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona>.

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

The flavour structure in the Standard Model. Production of heavy quarks at different accelerators. Bound states, quarkonia, spectroscopy of heavy hadrons. Decays and lifetimes of heavy hadrons. Flavour transitions: the CKM matrix and the measurements of its elements. Oscillations of neutral mesons (K, D, Bd, Bs), measurement of the oscillation parameters. The violation of the CP symmetry (CPV). Measurements of CPV in the B systems. Measurement of rare decays and search for New Physics in flavour transitions. Search for charged lepton flavour violations. Observation of neutrino oscillations. The neutrino mixing matrix and the measurement of its parameters. Extension of SM to include neutrino mass terms. Present and future experiments to measure neutrino mass hierarchy and oscillation parameters. Neutrinos in Astrophysics and Cosmology.

FISICA DELLE SUPERFICI

6 CFU

Docente: Leonida Miglio

Contenuti: Fisica delle Superfici libere, Fisica delle Interfacce, Adsorbimento sulle Superfici e Diffusione, Elementi di Deposizione di Film Sottili

Testi di riferimento:

Physics at Surfaces, Andrew Zangwill, Cambridge University Press

Surfaces and Interfaces of Solid Materials, Hans Luth, Springer Verlag

Introduction to Surfaces and Thin Film Processes, John A. Venables, Cambridge University Press

Obiettivi: Il Corso ha due valenze: da un lato intende completare le competenze acquisite durante il Corso di Fisica dello Stato Solido, rispondendo alla domanda fondamentale: che succede alle proprietà di un solido perfetto ed infinito quando la periodicità termina con una superficie, cosa che accade in tutti i sistemi reali? D'altro canto, si intendono fornire le basi per tutte le applicazioni di Fisica dei Semiconduttori, di Fisica dei Dispositivi Elettronici e di Nanotecnologie che coinvolgono, inevitabilmente, superfici, interfacce e film sottili. L'approccio è sia teorico, che sperimentale

Prerequisiti: Fisica dello Stato Solido a livello Magistrale

Modalità didattica: Lezione frontale

Periodo semestre: Secondo semestre

Altre informazioni: Sul sito web: <https://www.unimib.it/leonida-miglio> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Prova orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi: 18-30/30

Programma:

Fisica delle Superfici libere (3CFU): La tecnologia del Vuoto; Termodinamica e cristallografia delle Superfici; Caratterizzazione chimica, strutturale e morfologica delle superfici; Stati elettronici, vibrazionali ed Eccitazioni Elementari alle Superfici; Fisica delle Interfacce (1 CFU): L'eterogiunzione semiconduttore-semiconduttore e la giunzione metallo-semiconduttore. Assorbimento e Diffusione (1CFU): Fisisorbimento, Chemisorbimento; Diffusione superficiale, Cinetica e Dinamica alle Superfici. Crescita Epitassiale di Film Sottili (1 CFU): Tecnologie della deposizione; Nucleazione e crescita; Caratterizzazione di Film Sottili e di Super reticoli

SURFACE PHYSICS

6 CFU

Lecturer: Leonida Miglio

Contents: Physics of the Free Surfaces, Physics of Interfaces, Adsorption and Diffusion on Surfaces, Introduction to the Deposition of Thin Films

References:

Physics at Surfaces, Andrew Zangwill, Cambridge University Press

Surfaces and Interfaces of Solid Materials, Hans Luth, Springer Verlag

Introduction to Surfaces and Thin Film Processes, John A. Venables, Cambridge University Press

Aims: The course has two targets: on the one hand, to complete the skills acquired during the course of Solid State Physics, answering the fundamental question: what happens to the properties of a perfect and infinite solid when the lattice periodicity ends at a surface, which happens in all real systems? On the other hand, it is intended to provide the basis for all applications of Semiconductor Physics, Physics of Electronic Devices and Nanotechnologies inevitably involving surfaces, interfaces and thin films. The approach is both theoretical and experimental

Recommended knowledge: Solid State Physics at the Magister grade

Teaching form: Frontal Lessons

Semester: Second Semester

More information: <https://www.unimib.it/leonida-miglio>

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

Physics of free Surfaces (3 CFU): Vacuum technology; Surface thermodynamics and crystallography; Chemical, structural and morphological characterization of surfaces; Electronic and vibrational states, elementary excitations at surfaces;

Physics of Interfaces (1 CFU): The semiconductor-semiconductor heterojunction, and the metal-semiconductor junction.

Absorption and Diffusion (1 CFU): Physisorption, Chemisorption; Surface diffusion, kinetics and dynamics at surfaces.

Epitaxial Growth of Thin Films (1 CFU): Technologies for deposition; Nucleation and Growth; Characterization of Thin Films and Superlattices

FISICA DELLO STATO SOLIDO

6 CFU

Docente: Stefano Sanguinetti

Contenuti: Richiami sui reticoli cristallini. Vibrazioni reticolari e fononi. Gas di elettroni liberi. Bande di energia. Cristalli semiconduttori. Nanostrutture quantistiche.

Testi di riferimento:

N.W. Ashcroft and N.D. Mermin, "Solid State Physics"

Harald Ibach & Hans Lüth, "Solid-State Physics: An Introduction to Principles of Materials Science"

Obiettivi: Introdurre i concetti fondamentali della Fisica dello Stato Solido

Prerequisiti: Meccanica classica, elettromagnetismo, nozioni di meccanica quantistica

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU)

Periodo semestre: Primo semestre

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persone> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Teoria di Drude-Sommerfeld dei metalli, reticoli cristallini e reticoli reciproci, diffrazione da raggi X, struttura a bande nei solidi, dinamica semiclassica di elettroni, cristallo armonico classico, cristallo armonico quantistico, misura di fononi, proprietà dielettriche di isolanti, Semiconduttori, Proprietà ottiche di Semiconduttori, eterostrutture, nanostrutture quantistiche

SOLID STATE PHYSICS

6 CFU

Lecturer: Stefano Sanguinetti

Contents: Crystal structure, crystal vibrations and phonons, free electron gas, energy bands, semiconductor crystals, quantum nanostructures

References:

N.W. Ashcroft and N.D. Mermin, "Solid State Physics"

Harald Ibach & Hans Lüth, "Solid-State Physics: An Introduction to Principles of Materials Science"

Aims: Introduction of fundamental concepts in Solid State Physics

Prerequisites: Classical mechanics and electromagnetism, basic quantum mechanics

Teaching form: Lessons (6 credits)

Semester: first semester

More information: On the Website <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persone> you can find information about teachers c.v., telephone number, University room or other place of work, office hours and e-mail.

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus: Drude-Sommerfeld theory of metals, Crystal lattices and reciprocal lattices, X-Ray diffraction, band structure in solids, Semiclassical electron dynamics, Classical harmonic crystal, quantum harmonic crystal, Measuring phonons, Dielectric properties of insulators, Semiconductors, Optical Properties of Semiconductors Heterostructures, quantum nanostructures

FISICA TEORICA I

6 CFU

Docente: Alberto Zaffaroni

Testi di riferimento:

F. Mandl, G. Shaw, Quantum Field Theory, II Ed.

M.D. Schwartz, Quantum Field Theory and The Standard Model

M.E. Peskin, D.V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory

S. Weinberg, Quantum Theory of Fields.

Obiettivi: Introduzione alla Teoria Quantistica e Relativistica dei Campi delle Interazioni Fondamentali.

Prerequisiti: Conoscenza approfondita della Fisica Classica e Quantistica.

Modalità didattica: Lezione frontale, 6 cfu.

Periodo semestre: Primo semestre

Altre informazioni:

Sito [e-learning](#) di Ateneo (insegnamento di [Fisica Teorica I](#))

Modalità dell'esame: Esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Equazioni d'onda relativistiche. Simmetria e leggi di conservazione. Quantizzazione dei Campi

Teoria Covariante delle Perturbazioni. Diagrammi di Feynman

Cinematica relativistica, spazio delle fasi, sezione d'urto

Processi ad albero in QED

THEORETICAL PHYSICS I

6 CFU

Lecturer: Alberto Zaffaroni.

Textbooks:

F. Mandl, G. Shaw, Quantum Field Theory, II Ed.

M.D. Schwartz, Quantum Field Theory and The Standard Model

M.E. Peskin, D.V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory

S. Weinberg, Quantum Theory of Fields.

Aims: Introduction to the Relativistic Quantum Field Theory of Fundamental Interactions

Prerequisites: Good knowledge of Classical and Quantum Mechanics.

Teaching form: Lessons, 6 credits.

Semester: First semester

More information: See Bicocca [e-learning platform](#)

Examination: Oral examination

Mark range: 18-30/30

Syllabus:

Relativistic wave equations

Symmetry and conservation laws

Field quantization

Invariant perturbation theory

Feynman diagrams

Relativistic kinematics, reference systems, phase space, cross section

Tree level processes in QED.

FISICA TEORICA II
6 CFU

Docente: Alberto Zaffaroni

Contenuti: Si veda il programma

Testi di riferimento:

F. Mandl, G. Shaw, Quantum Field Theory, II Ed.

M.D. Schwartz, Quantum Field Theory and The Standard Model

M.E. Peskin, D.V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory

S. Weinberg, Quantum Theory of Fields

Obiettivi: Introduzione al Modello Standard delle Interazioni Fondamentali

Prerequisiti: Fisica Teorica I

Modalità didattica: Lezione frontale, 6 cfu.

Periodo semestre: Primo semestre

Altre informazioni:

Sito [e-learning](#) di Ateneo (insegnamento di Fisica Teorica II)

Modalità dell'esame: Esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18–30/30

Programma:

Correzioni radiative dell'Elettrodinamica Quantistica

Regolarizzazione e rinormalizzazione della QED

Simmetrie e Teorie di Gauge non abeliane.

Teoria di Gauge per le interazioni deboli

THEORETICAL PHYSICS II
6 CFU

Lecturer: Alberto Zaffaroni

Contents: See syllabus

Textbooks:

F. Mandl, G. Shaw, Quantum Field Theory, II Ed.

M.D. Schwartz, Quantum Field Theory and The Standard Model

M.E. Peskin, D.V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory

S. Weinberg, Quantum Theory of Fields

Aims: Introduction to the Standard Model of Fundamental Interactions

Prerequisites: Theoretical Physics I

Teaching form: Lessons, 6 credits.

Semester: First semester

More information: See Bicocca [e-learning](#) platform

Examination: Oral examination

Mark range: 18-30/30

Syllabus:

Radiative corrections to Quantum Electrodynamics

Regularization and renormalization of QED

Symmetries e non abelian Gauge Theories

Gauge Theory for weak interactions

GRAVITA' QUANTISTICA 6 CFU

Docente: Silvia Penati - Alberto Zaffaroni

Contenuti:

1. Problemi legati alla quantizzazione della gravità.
2. Quantizzazione semiclassica.
3. Proposte di completamento ultravioletto

Testi di riferimento: Consultare i siti dei docenti per il materiale didattico.

Obiettivi: Problema della quantizzazione della gravità.

Prerequisiti: Relatività generale, Fisica teorica.

Modalità didattica: Lezione frontale, 6 cfu.

Periodo semestre: Secondo semestre.

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.fisica.unimib.it/it/ricerca/fisica-teorica/milano-bicocca-theoretical-physics-group/members> è possibile trovare le informazioni sui c.v. dei docenti e il loro indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Esame orale.

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30.

Programma:

- Materia oscura, energia oscura; evidenza osservativa, proposte teoriche.
- Problema della gerarchia; problema della costante cosmologica.
- Non rinormalizzabilità della gravità.
- Elementi di supersimmetria, supergravità e superstringa.
- Buchi neri. Radiazione di Hawking, termodinamica dei buchi neri, problema dell'entropia

QUANTUM GRAVITY

6 CFU

Lecturer: Silvia Penati - Alberto Zaffaroni

Contents:

1. Problems related to the quantization of gravity.
2. Semiclassical quantization.
3. Proposals for ultra-violet completion of the theory.

References: Available on the teacher's websites.

Aims: Problems in quantum gravity.

Recommended knowledge: General relativity, theoretical physics.

Teaching form: Lessons, 6 credits.

Semester: Second semester

More information: Information about the teacher's c.v.s and e-mail addresses can be found on the website:

<https://www.fisica.unimib.it/it/ricerca/fisica-teorica/milano-bicocca-theoretical-physics-group/members>

Examination type: Oral examination

- Voto in trentesimi 18-30/30.

Syllabus:

- Dark matter, dark Energy; observational evidence, theoretical proposals.
- The hierarchy problem; the cosmological constant problem.
- Non-renormalizability of gravity.
- Elements of supersymmetry, supergravity and superstring.
- Black holes. Hawking radiation, black hole thermodynamics, the entropy problem.

LABORATORIO DI ASTROFISICA 12 CFU

Docente: Giuseppe Gavazzi

Contenuti: acquisizione, elaborazione e interpretazione di osservazioni astronomiche

Testi di riferimento:

Boselli, "Alla scoperta delle galassie", ed. Springer

G. Gavazzi, "La colorata lentezza delle galassie", ed. Marsilio

Manuale IRAF

Obiettivi: preparare gli studenti a estrarre e analizzare le osservabili dalle misure di galassie nell'universo locale.

Prerequisiti: meccanica classica, elettromagnetismo, elementi di statistica

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU), Esercitazioni (6 CFU)

Periodo semestre: primo + secondo semestre

Altre informazioni: Sul sito web del dipartimento, alla pagina <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: relazione scritta, esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

alcune lezioni frontali preparano gli studenti alla problematica delle galassie in relazione alle loro proprietà osservative. Viene poi illustrato l'uso del pacchetto IRAF per la riduzione di immagini astronomiche (fotometria e spettroscopia).

Tra febbraio e marzo gli studenti partecipano ad un run osservativo di 4-5 notti presso l'osservatorio di Loiano (Bologna) dove acquisiscono spettri ed immagini di galassie.

Durante il rimanente periodo gli studenti, divisi in gruppi, analizzano i dati da loro presi e discutono le osservabili dedotte. L'esperienza viene descritta in una relazione scritta.

LABORATORY OF ASTROPHYSICS 12 CFU

Lecturer: Giuseppe Gavazzi

Contents: data taking, reduction and analysis of spectroscopic and photometric observations of galaxies

References:

Boselli, "Alla scoperta delle galassie", ed. Springer

G. Gavazzi, "La colorata lentezza delle galassie", ed. Marsilio

IRAF manual

Aims: prepare the students at taking, reducing and analyzing astronomical images and spectra of galaxies

Prerequisites: classical mechanics, electromagnetism

Teaching form: Lessons (6 credits), Lab (6 credits)

Semester: first + second semester

More information: Informations about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website of the department G. Occhialini <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona>

Examination type: Oral examination + written essay

Mark range: 18-30/30

Syllabus:

some initial lectures are used to introduce the students to the phenomenology of galaxies and their observational properties.

The use of the IRAF software for the reduction and analysis of astronomical images is illustrated.

Between February and March students take part to an observational run of 4-5 nights at the observatory of Loiano (Bologna), where spectra and images of galaxies are acquired. During the remaining period groups of students analyze the data taken and discuss the derived observable quantities in a written essay.

LABORATORIO DI BIOFOTONICA I

10 CFU

Docente: Giuseppe Chirico – Laura D’Alfonso

Contenuti: Tecniche spettroscopiche applicate a biosistemi. Misura di tempi di vita di fluorescenza di tipici fluorofori per microscopia ottica. Anisotropia di fluorescenza. Diffusione dinamica di luce polarizzata e depolarizzata. Spettroscopia di correlazione di fluorescenza.

Testi di riferimento:

C.R.Cantor and P.R.Schimmel, “Biophysical Chemistry”, W.H. Freeman & Co, 1980;

J.R.Lackowicz, “Principles of Fluorescence Spectroscopy”, Springer, 2006;

A.Diaspro, “Confocal and two photon microscopy: foundations, applications and advances” edited by Alberto Diaspro, Wiley, 2002.

Obiettivi: Lo studente apprenderà l’utilizzo di tecniche spettroscopiche avanzate per la caratterizzazione di nanomateriali, biomolecole e campioni biologici.

Prerequisiti: I contenuti dei corsi del Corso di Laurea Triennale in Fisica.

Raccomandati: insegnamento di Biofotonica del CdS Magistrale in Fisica e/o Esperimentazioni di Biofotonica del Corso di Laurea Triennale in Fisica.

Modalità didattica: Esperimenti nei laboratori di ricerca del gruppo di Biofisica, stanze 4054-4052-4051.

Periodo semestre: I semestre - inizio II semestre

Modalità dell’esame: Lo studente deve redigere in lingua inglese una relazione sugli esperimenti svolti, sulla quale verterà il colloquio orale finale.

Valutazione dell’esame: Il voto finale sarà determinato dalla valutazione della relazione, della conoscenza dei vari argomenti trattati, dell’analisi dei dati sperimentali e del comportamento seguito durante tutto il corso in laboratorio.

Programma:

Misura di tempi di vita di fluorescenza di tipici fluorofori per microscopia ottica. Coloranti in soluzione e miscele. Determinazione delle costanti di legame fluoroforo-proteina da misure dei tempi di vita. Dimensione di proteine e loro aggregazione mediante anisotropia di fluorescenza. Diffusione dinamica di luce polarizzata e depolarizzata. Effetti di temperatura e dei sali sulla diffusione di proteine. Cinetiche di aggregazione. Spettroscopia di correlazione di fluorescenza: calibrazione, misure al variare della potenza e concentrazione. Fotofisica della GFP. FCS di nanoparticelle d’oro. Misure di molecular crowding.

LABORATORY OF BIOPHOTONICS I

10 CFU

Lecturer: Giuseppe Chirico – Laura D’Alfonso

Contents: Time-resolved spectroscopic techniques applied to biosystems. Fluorescence lifetimes of typical fluorophores used in optical microscopy. Fluorescence anisotropy. Polarized and depolarized dynamic light scattering. Fluorescence correlation spectroscopy.

References:

C.R.Cantor and P.R.Schimmel, “Biophysical Chemistry”, W.H. Freeman & Co, 1980;

J.R.Lackowicz, “Principles of Fluorescence Spectroscopy”, Springer, 2006;

A.Diaspro, “Confocal and two photon microscopy: foundations, applications and advances” edited by Alberto Diaspro, Wiley, 2002.

Aims: To learn to exploit advanced spectroscopic techniques to characterize nanomaterials, biomolecules and biological samples.

Prerequisites: The topics covered in the different courses of the Bachelor Degree in Physics.

Recommended: the Biophotonics course of the Master Degree in Physics and/or the Experiments of Biophotonics course of the Bachelor Degree in Physics.

Teaching form: Experiments in the research labs of the Biophysics group, rooms 4054-4052-4051.

Semester: I semester – beginning of the II semester

Examination type: Students are required to write in English a relation describing the experiments performed and it will be the object of the discussion during the final oral exam.

Mark range: The final score will be determined by the evaluation of the relation, of the knowledge of the different topics covered in the lab, of the experimental data analysis and of the student's behavior overall the lab course.

Syllabus:

Fluorescence lifetimes measurements of typical fluorophores used in optical microscopy. Dyes in solution and mixtures of dyes. Fluorophore-protein binding constant evaluation from lifetimes measurements. Proteins size and aggregation studies by means of fluorescence polarization anisotropy. Polarized and depolarized dynamic light scattering. Temperature and salt concentration effects on protein diffusion dynamics. Aggregation kinetics. Fluorescence correlation spectroscopy (FCS): calibration of the optical setup, experiments versus excitation power and concentration. Green Fluorescent Protein photophysics. Gold nanoparticles FCS. Molecular crowding experiments.

LABORATORIO DI BIOFOTONICA II

6 CFU

Docente: Maddalena Collini

Contenuti: Tecniche di microscopia ottica in fluorescenza sia lineare che non lineare. Metodi di correlazione di immagini.

Testi di riferimento:

“Single Molecule Spectroscopy”, Rigler, Orrit, Basche', Springer Verlag, Chemical Physics series. Klein, M. V. “Optics” Miles V. Klein, Thomas E. Furtak . - 2. ed. 1986 Diaspro Alberto, “Confocal and two-photon microscopy : foundations, applications, and advances”, edited by Alberto Diaspro. Wiley, 2002.

Obiettivi: Impartire conoscenze nell'ambito della microscopia ottica in fluorescenza con analisi di immagini mediante metodi quantitativi per applicazioni alla biologia e nanotecnologie.

Prerequisiti: I contenuti dei corsi di fisica.

Prerequisito suggerito: insegnamento di Biofotonica del CdS Magistrale in Fisica e/o Esperimentazione di Biofotonica della laurea Triennale in Fisica.

Modalità didattica: Esperimenti nei laboratori di ricerca del gruppo di Biofisica 4054-4052-4051

Periodo semestre: Il semestre -

Modalità dell'esame: Lo studente deve redigere una relazione in lingua inglese, sulla quale verterà il colloquio orale.

Valutazione dell'esame: La relazione, la conoscenza dei vari argomenti, il trattamento dei dati sperimentali e il comportamento seguito durante tutto il laboratorio dal candidato andranno a costituire il voto finale, espresso in trentesimi.

Programma:

Microscopia di fluorescenza confocale: risoluzione radiale e assiale, immagini acquisite in varia modalità, immagini spettrali di campioni fissati. Sistemi cellulari incubati con nanoparticelle metalliche: internalizzazione. Correlazione di immagini su sistemi complessi: diffusione in hydrogel e in cellula. Misure di flusso in micro-canali. Misure in super-risoluzione (STED) con sferette da 20 nm. Identificazione di singole molecole (proteine fluorescenti).

Microscopia di fluorescenza non lineare: risoluzione radiale e assiale. Misure su campioni di tessuto fissati al variare della lunghezza d'onda. Misure in lieviti con coloranti nucleari e di membrana. Misure su cellula con nanoparticelle. Generazione di seconda armonica (SHG). Misure di SHG su cristalli di urea la variare della polarizzazione. Misure di SHG su campioni di tessuto tumorale ed analisi col metodo dei fasori per identificare le fibre di collagene.

LABORATORY OF BIOPHOTONICS II

6 CFU

Lecturer: Maddalena Collini

Contents: Techniques of fluorescence linear and non linear optical microscopy. Image correlation methods.

References:

“Single Molecule Spectroscopy”, Rigler, Orrit, Basche', Springer Verlag, Chemical Physics series. Klein, M. V. “Optics” Miles V. Klein, Thomas E. Furtak . - 2. ed. 1986 Diaspro Alberto, “Confocal and two-photon microscopy : foundations, applications, and advances”, edited by Alberto Diaspro. Wiley, 2002.

Aims: Acquire knowledge in fluorescence optical microscopy techniques and image analysis by quantitative methods for applications in biology and nanotechnology

Prerequisites: The contents of the courses in Physics.

Suggested prerequisites: the course of Biophotonics of the Master degree in Physics and/or the course of Experiments of Biophotonics of the Bachelor degree in Physics

Teaching form: Experiments in the research labs of the Biophysics group 4054-4052-4051

Semester: II semester

Examination type: The student is required to write a relation on the experiments performed in English language that will be the object of the discussion on the final oral exam.

Mark range: The relation, the knowledge in the different topics, the experimental data treatment and the candidate's behavior overall the lab course will determine the final score, given in the range 18/30 – 30/30 cum laude.

Syllabus:

Confocal optical microscopy: radial and axial resolution, images acquired in different modalities, spectral imaging of fixed samples. Cellular systems incubated with metal nanoparticles: internalization. Image correlation on complex systems: diffusion in hydrogels and in cells. Flux measurements in microchannels, Superresolution microscopy (STED) with 20 nm nanospheres. Identification of single molecules (fluorescent proteins) .

Non linear fluorescence microscopy: radial and axial resolution. Measurements of fixed tissue samples at different excitation wavelengths. Measurements of yeast cells with membrane and nuclear dyes. Measurements of cells with nanoparticles. Second harmonic generation (SHG). Measures of Urea crystal at different laser polarizations. Measures of tumor tissues samples and analysis by means of phasors methods to retrieve the collagen fibers orientation.

LABORATORIO DI FISICA COMPUTAZIONALE

10 CFU

Docente: Leonardo Giusti - Michele Pepe

Contenuti: Integrazione numerica elementare, metodi Monte Carlo, simulazione numerica di sistemi quantistici e statistici elementari.

Testi di riferimento: Numerical Recipes, W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery.

W. Feller, An introduction to probability theory and its application.

M. Creutz, Quarks, gluons and lattices.

M. Creutz, B. Freedman, A statistical approach to quantum mechanics

Annals of Physics 132 (1981) 427.

Obiettivi: Studio ed implementazione di tecniche di simulazione numerica per calcolo di integrali sui cammini.

Prerequisiti: Meccanica Razionale, Meccanica Quantistica

Modalità didattica: Lezione frontale 16 ore, Laboratorio 72 ore.

Periodo semestre: II semestre

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.unimib.it/leonardo-giusti> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Relazione scritta ed esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

INTEGRAZIONE NUMERICA ELEMENTARE:

Formule di Newton-Cotes, quadrature Gaussiane, integrazione numerica composta.

METODI MONTE CARLO:

Teorema del limite centrale, Monte Carlo, campionamento di importanza, catene di Markov, algoritmo del Metropolis.

SIMULAZIONI NUMERICHE:

Implementazione del metodo delle quadrature Gaussiane per integrali unidimensionali, implementazione del Metropolis per il calcolo di rapporti di integrali sui cammini per sistemi quantistici elementari.

Modello di Ising come esempio di sistema ferromagnetico: calcolo dell'energia media e della magnetizzazione in funzione della temperatura.

LABORATORY OF COMPUTATIONAL PHYSICS
10 CFU

Lecturer: Leonardo Giusti - Michele Pepe

Contents: Elementary numerical integration, Monte Carlo methods, numerical simulation of elementary quantum and statistical systems.

References: Numerical Recipes, W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery.

W. Feller, An introduction to probability theory and its application.

M. Creutz, Quarks, gluons and lattices.

M. Creutz, B. Freedman, A statistical approach to quantum mechanics

Annals of Physics 132 (1981) 427.

Aims: Study and implementation of techniques for computing path integrals

Recommended knowledge: Meccanica Razionale, Meccanica Quantistica

Teaching form:

- Lab, 10 credits

Semester: Second semester

More information: Informations about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website: <https://www.unimib.it/leonardo-giusti>.

Examination type: Written report and oral exam

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

ELEMENTARY NUMERICAL INTEGRATION:

Formulae of Newton-Cotes, Gaussian quadratures, composite integration.

MONTE CARLO METHODS:

Central limit theorem, Monte Carlo, importance sampling, Markov chains, Metropolis algorithm.

NUMERICAL SIMULATIONS:

Implementation of the Gaussian quadratures for uni-dimensional integrals, implementation of the Metropolis algorithm for the computation of ratios of path integrals for elementary quantum systems.

Ising model as an example of ferromagnetic systems: calculation of the mean energy and magnetization as a function of the temperature.

LABORATORIO DI FISICA DEI PLASMI I 10 CFU

Docente: Riccardi Claudia - Daria Ricci

Contenuti: L'insegnamento prevede una serie di lezioni introduttive e sperimentazioni sulla fisica e la diagnostica dei plasmi.

Testi di riferimento:

F.F.Chen, "Introduction to plasma physics", Plenum, 1984

Obiettivi: acquisizione di tecniche e metodi sperimentali in fisica del plasma

Prerequisiti: nessuno

Modalità didattica: Esercitazioni di laboratorio (10 cfu)

Periodo semestre: Primo semestre

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona> è possibile trovare le informazioni sul CV del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail. Sul sito web www.plasmaprometeo.unimib.it si possono trovare informazioni sui laboratori e i reattori utilizzati per il corso e sul sito web: www.ifp.cnr.it è possibile trovare le informazioni sulla macchina GyM. riccardi@mib.infn.it, daria.ricci@ifp.cnr.it

Modalità dell'esame: Esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma: Il laboratorio prevede una serie di lezioni introduttive sulla fisica e la diagnostica dei plasmi, sul vuoto e sulle microonde. Le esercitazioni prevedono la realizzazione di esperimenti: a) Propagazione di microonde in guida. Caratterizzazione di un'antenna a microonde b) Allestimento di una camera da vuoto. Caratterizzazione del vuoto con la spettroscopia di massa e ricerca delle fughe. c) Produzione di un plasma mediante una scarica elettrica in un gas a bassa pressione. Caratterizzazione del plasma attraverso l'uso di sonde di Langmuir. d) Studio dell'effetto di un campo magnetico statico sul plasma. e) Studio di DC glow discharges. f) Studio di fluttuazioni di densità di plasma con tecniche diverse (array di sonde elettrostatiche, fast imaging) sulla macchina lineare GyM presso IFP- CNR.

PLASMA PHYSICS LABORATORY I 10 CFU

Lecturer: Riccardi Claudia - Daria Ricci

Contents: Plasma physics experiments

References:

F. F. Chen, "Introduction to plasma physics", Plenum, 1984

Aims: experimental skills in plasma physics

Prerequisites: none

Teaching form: Laboratory lectures, 10 credits

Semester: First semester

More information: Informations about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website: <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona>, and also at web www.plasmaprometeo.unimib.it and : www.ifp.cnr.it . riccardi@mib.infn.it , daria.ricci@ifp.cnr.it

Examination type: Oral examination

Mark range: 18-30/30

Syllabus: Introductory lectures on plasma physics and diagnostics, vacuum systems and transmission lines. Experiments: a) microwave propagation and transmission; b) mass spectroscopy of residual gases in a vacuum chamber and leak detection; c) electric discharge generation in vacuum and characterisation of plasma discharges by Langmuir probes and optical emission spectroscopy; d) characterisation of magnetized plasmas; e) study of DC glow discharges. F) study of density fluctuations in the liner device Gym.

LABORATORIO DI FISICA DEI PLASMI II

6 CFU

Docente: Ruggero Barni

Contenuti: Plasmi prodotti in scariche elettriche nei gas. Plasmi freddi a bassa pressione. Plasmi a radiofrequenza. Plasmi freddi a pressione atmosferica. Diagnostiche dei plasmi. Processi a plasma per il trattamento di materiali. Microscopia a forza atomica. Microscopia elettronica e a fascio ionico.

Testi di riferimento:

Y.P.Raizer, "Gas Discharge Physics", Springer-Verlag, 1991.

Obiettivi: Le attività sono focalizzate sulle applicazioni della fisica dei plasmi. Il corso è finalizzato all'apprendimento di nozioni generali e di tecniche sperimentali per la caratterizzazione di scariche elettriche in miscele gassose e del loro utilizzo per il trattamento dei materiali.

Prerequisiti: È richiesta la frequenza al Laboratorio di Fisica dei Plasmi I. E' consigliabile ma non necessario aver frequentato i corsi di Fisica dei Plasmi I e II. Nozioni di fisica e matematica dei corsi della laurea triennale in Fisica.

Modalità didattica: 72 ore di laboratorio (6 CFU)

Periodo semestre: anno I, semestre II

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.unimib.it/ruggero-barni> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Sul sito web http://virgilio.mib.infn.it/labdida/doku.php?id=laboratorio_di_plasmi possibile trovare le informazioni sul laboratorio e le attività didattiche.

Modalità dell'esame: orale (con preparazione di una relazione scritta)

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Il laboratorio prevede una introduzione sulle diverse tipologie di scariche elettriche nei gas, sui processi elementari che avvengono nei plasmi e sul trattamento dei materiali con il plasma. Le esercitazioni prevedono la realizzazione in piccoli gruppi di esperimenti:

- a) Allestimento e caratterizzazione di una scarica a bagliore (glow discharge)
- b) Allestimento e caratterizzazione di un plasma per mezzo di un'antenna a radiofrequenza
- c) Caratterizzazione di una scarica elettrica a barriera isolante (DBD, Dielectric Barrier Discharge)
- d) Caratterizzazione dell'interazione plasma-materiali, con tecniche di microscopia a forza atomica, microscopia elettronica e ionica.

PLASMA PHYSICS LABORATORY II

6 CFU

Lecturer: Ruggero Barni

Contents: Plasmas produced in electrical discharges in gases. Low pressure cold plasmas. Radiofrequency plasmas. Cold plasmas at atmospheric pressure. Plasma diagnostics. Plasma processing for material treatments. Atomic Force Microscopy. Scanning Electron Microscopy. Focused Ion Microscopy.

References:

Y.P.Raizer, "Gas Discharge Physics", Springer-Verlag, 1991.

Aims: The focus is on the plasma applications. The course aims to the learning of general ideas and experimental techniques for the characterization of electrical discharges in gas mixtures and their use in material processing.

Prerequisites: It is required to have attended to the Plasma Physics Laboratory I. It is useful but not needed to have attended to general courses of Plasma Physics. Maths and physics concepts given in the first-level degree.

Teaching form: Laboratory 72 hours (6 cfu)

Semester: First year, second semester

More information:

Informations about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website: <https://www.unimib.it/ruggero-barni>

Examination type: oral (with a written report).

Mark range: 18-30/30

Syllabus:

The laboratory starts with an introduction on electrical discharges in gases, on elementary processes in plasmas and on plasma processing of materials. Experiments will be realized in small groups concerning:

- a) Characterization of a glow discharge
- b) Characterization of a plasma produced by a radiofrequency antenna
- c) Characterization of a DBD, Dielectric Barrier Discharge
- d) Characterization of plasma-material interactions with atomic force microscopy, electronic and ionic microscopy.

LABORATORIO DI MISURE NUCLEARI E SUBNUCLEARI I 10 CFU

Docente: Francesco Terranova

Contenuti: Caratterizzazione di rivelatori a scintillazione, utilizzo di sorgenti radioattive di calibrazione, ottimizzazione della misura, scelta e organizzazione di una catena elettronica di lettura, presa dati e successiva elaborazione.

Testi di riferimento: G.F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement", 4th ed., Wiley & Sons

Obiettivi: Apprendere le tecniche sperimentali per la misura di energia, tempo e posizione di particelle elementari introducendo l'uso di strumentazione moderna tramite la realizzazione di esperimenti elementari

Prerequisiti: I contenuti dei corsi di Fisica della Laurea Triennale, con particolare riguardo al corso di "Fisica Nucleare e Subnucleare"

Modalità didattica: Attività di laboratorio (10 CFU)

Periodo semestre: Primo semestre

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Relazione scritta + Esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30 e lode

Programma: Ciascun studente, inserito in un gruppo di tre, realizzerà un esperimento (uno solo) nel campo della fisica delle particelle, occupandosi della caratterizzazione dell'apparato, della campagna di misure e dell'elaborazione dei dati.

Attualmente sono previsti i seguenti esperimenti:

- 1) Effetto Compton;
- 2) Muoni cosmici;
- 3) Cascate nucleari gamma;
- 4) Identificazione della posizione di una sorgente con metodo PET;
- 5) Caratterizzazione di scintillatori inorganici a varie temperature.

LABORATORY OF NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS I 10 CFU

Lecturer: Francesco Terranova

Contents: Scintillators characterization, use of radioactive sources for calibration, measurement optimization, choice and organization of an electronic readout chain, data taking and processing.

References: G.F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement", 4th ed., Wiley & Sons

Aims: Learning the experimental methods in particle physics through the use of modern instruments and the realization of simple experiments.

Prerequisites: All the Physics topics encountered during the Undergraduate Physics Classes, in particular the course of "Nuclear and Subnuclear Physics"

Teaching form: Lab practicing (10 Credits)

Semester: First semester

More information: Information about the teacher's CV, telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona>.

Examination type: Written report + Oral examination

Mark range: 18/30 – 30/30 cum laude

Syllabus: Each student, in collaboration with two more students, will conduct one (only one) nuclear or particle physics experiment, from the characterization of the experimental setup, to the data taking and analysis. The following experiments are foreseen at the moment:

- 1) Compton Effect;
- 2) Cosmic muons;
- 3) Nuclear gamma cascades;
- 4) Identification of a gamma source position using a PET;
- 5) Characterization of inorganic scintillators at different temperatures.

LABORATORIO DI MISURE NUCLEARI E SUBNUCLEARI II 6 CFU

Docente: Chiara Brofferio

Contenuti: Il II modulo del Laboratorio di Misure Nucleari e Subnucleari completa l'esperienza didattica del I modulo. Gli apparati sperimentali caratterizzati nel I semestre vengono ora utilizzati per misure più sofisticate dove il controllo delle incertezze sistematiche svolge un ruolo preponderante nella pianificazione delle misure e nell'analisi dei dati.

Testi di riferimento:

G. F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement", 4th ed., Wiley & Sons

K. Grupen, "Particle Detectors", 2nd ed., Cambridge University Press

G. Gilmore, "Practical gamma ray spectroscopy", 2nd ed., Wiley & Sons

Obiettivi: Sviluppare le capacità dello studente a progettare e realizzare un esperimento o una misura di fisica delle particelle con strumentazione moderna.

Prerequisiti: Laboratorio di misure nucleari e subnucleari, I modulo

Modalità didattica: Attività di laboratorio (6 CFU)

Periodo semestre: Secondo semestre

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona> è possibile trovare informazioni sul c.v. del docente, numero di telefono, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Relazione scritta + Esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30 e lode

Programma:

Ciascun studente, inserito in un gruppo di tre, realizzerà un esperimento (uno solo) nel campo della fisica delle particelle, partendo da quanto già realizzato nel I semestre. Sono previsti i seguenti esperimenti:

- 1) Diffusione Compton di fotoni polarizzati;
- 2) Misura della precessione in campo magnetico di muoni a riposo;
- 3) Misura della vita media di uno stato metastabile del ⁵⁷Co;
- 4) Tecniche PET;
- 5) Caratterizzazione di bolometri scintillanti

LABORATORY OF NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS II 6 CFU

Lecturer: Chiara Brofferio

Contents: In this II part, the students deepen the experimental techniques developed in the I part of this Laboratory. The experimental apparatus assembled in the previous course is now employed to perform more sophisticated measurements; here the assessment of systematic bias plays a leading role in data taking and analysis.

References: G.F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement", 4th ed., Wiley & Sons

K. Grupen, "Particle Detectors", 2nd ed., Cambridge University Press

G. Gilmore, "Practical gamma ray spectroscopy", 2nd ed., Wiley & Sons

Aims: Learning the experimental methods in particle physics through the use of modern instruments and the realization of simple experiments.

Prerequisites: Laboratory of nuclear and particle physics, I part

Teaching form: Lab practicing (6 credits)

Semester: Second semester

More information: Information about the teacher's CV, telephone number, office hours and e-mail can be found on the website <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona>.

Examination type: Written report + Oral examination

Mark range: 18/30 -30/30 cum laude

Syllabus: Each student placed in a group of three, will carry out an experiment (just one) in the field of particle physics, based on the achievements obtained in the first semester. Experiments are the following:

- 1) Compton scattering of polarized photons,
- 2) Measurement of the muon precession in a magnetic field at rest,
- 3) Measurement of the lifetime of a metastable state of ⁵⁷Co,
- 4) PET techniques;
- 5) Characterization of scintillating bolometers

LABORATORIO DI STATO SOLIDO ED ELETTRONICA I 10 CFU

Docente: Emanuele Enrico Grilli (5 CFU) - Andrea Baschiroto (5 CFU)

Contenuti: Esperienze di laboratorio di fisica dello stato solido o di elettronica

Testi di riferimento:

F. Wooten "Optical Properties of Solids", Academic Press

W. G. Driscoll ed. "Handbook of Optics", McGraw-Hill

M. Cardona "Modulation Spectroscopy" (Solid State Physics, Supplement 11), Academic Press

E. D. Palik ed. "Handbook of Optical Constants of Solids", Academic Press

"Photomultiplier Tube", Hamamatsu

"Guide for Spectroscopy", Jobin Yvon Horiba

A. Baschiroto "Dispense di Microelettronica"

Gray, Hurst, Lewis, Meyer, "Analysis and design on analog integrated circuits"

F. Maloberti, "Analog design for CMOS VLSI systems"

B. Razavi, "Design of analog integrated circuits"

Obiettivi: Affronto di problematiche di fisica dello stato solido dal punto di vista sperimentale mediante tecniche di laboratorio avanzate basate principalmente sulla spettroscopia ottica. Analisi e sintesi di circuiti integrati analogici in tecnologia CMOS con l'utilizzo del software CAD CADENCE

Prerequisiti: laurea di I livello in fisica o equivalente

Modalità didattica: Laboratorio (8 CFU), Esercitazioni (2 CFU)

Periodo semestre: 1° semestre

Altre informazioni: Sui siti web:

<https://www.mater.unimib.it/it>

<https://www.fisica.unimib.it/it/ricerca/elettronica-e-fisica-applicata/microelectronic-group-unimib> è possibile trovare le informazioni sul c.v. dei docenti, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: relazione scritta ed esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Per gli studenti orientati verso la fisica dello stato solido il corso consiste in una esperienza di laboratorio eseguita dagli studenti in gruppi di due o tre.

L'attività di laboratorio sarà preceduta da lezioni introduttive sulla correlazione tra proprietà fisiche dei solidi e tecniche di indagine sperimentale. Esempi di esperienze:

Fotoluminescenza di semiconduttori inorganici e di strutture quantiche.

Fotoluminescenza di semiconduttori organici.

Termoluminescenza di isolanti inorganici.

Spettroscopia Raman.

Per gli studenti orientati verso l'elettronica il corso affronta lo studio e la progettazione di circuiti integrati analogici utilizzando il software CAD CADENCE svolta da gruppi di due studenti.

L'attività di laboratorio sarà preceduta da lezioni introduttive su: tecnologia CMOS, interruttori analogici, specchi di corrente, riferimenti di tensione e corrente, stadi di guadagno, amplificatori operazionali.

Esempi di esperienze: Progetto di uno specchio di corrente, di un riferimento a bandgap, di un amplificatore operazionale a singolo e a doppio stadio, di un filtro analogico.

SOLID STATE AND ELECTRONICS LABORATORY I

10 CFU

Lecturer: Emanuele Enrico Grilli (5 CFU) - Andrea Baschiroto (5 CFU)

Contents: Experiments of solid state laboratory or electronics.

References:

F. Wooten "Optical Properties of Solids", Academic Press

W. G. Driscoll ed. "Handbook of Optics", McGraw-Hill

M. Cardona "Modulation Spectroscopy" (Solid State Physics, Supplement 11), Academic Press

E. D. Palik ed. "Handbook of Optical Constants of Solids", Academic Press

"Photomultiplier Tube", Hamamatsu

"Guide for Spectroscopy", Jobin Yvon Horiba

A. Baschiroto "Dispense di Microelettronica"

Gray, Hurst, Lewis, Meyer, "Analysis and design of analog integrated circuits"

F. Maloberti, "Analog design for CMOS VLSI systems"

B. Razavi, "Design of analog integrated circuits"

Aims: To measure with problems of solid state Physics from an experimental point of view by advanced experimental techniques based mainly on optical spectroscopy.

Analysis and design of analog integrated circuits in CMOS technology by using CAD software CADENCE.

Prerequisites: Graduate in physics or equivalent.

Teaching form: Laboratory (8 credits), Practice (2 credits)

Semester: first semester

More information: Informations about the teachers's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the websites: <https://www.mater.unimib.it/it>

<https://www.fisica.unimib.it/it/ricerca/elettronica-e-fisica-applicata/microelectronic-group-unimib>

Examination type: Written report and oral examination

Mark range: 18-30/30

Syllabus:

For the students Solid State Physics oriented the course consist in a laboratory experience performed by a study group of two or three

students. The laboratory activity will be preceded from introductory lessons on the correlation between physical properties of solids and techniques of experimental investigations. Examples of experiences:

Photoluminescence of inorganic semiconductors and quantum structures.

Photoluminescence of organic semiconductors.

Thermoluminescence of inorganic insulators.

Raman spectroscopy.

For the students Electronics oriented the course deals with the analysis and the design of analog integrated circuits using CAD software Cadence performed by groups of two students. The laboratory activity is introduced by lectures on; CMOS technology, analog switches, current mirrors, current and voltage references, gain stages, operational amplifiers.

Example of experience: Design of a current mirrors, of a bandgap reference, of an operational amplifier with single-stage or two-stages, of an analog filter.

LABORATORIO DI STATO SOLIDO ED ELETTRONICA II 6 CFU

Docente: Emanuele Enrico Grilli (6 CFU) - Andrea Baschirotto (6 CFU)

Contenuti: Esperienze di laboratorio di fisica dello stato solido o di elettronica

Testi di riferimento:

G. Agostini and C. Lamberti, "Characterization of Semiconductor Heterostructures and Nanostructures", Elsevier Science

Markov, Ivan V. , "Crystal Growth for Beginners: Fundamentals of Nucleation, Crystal Growth, and Epitaxy", World Scientific Pub Co Inc

Charles Evans & Richard Brundle & Wilson Shaun, "Encyclopedia of Materials Characterization: Surfaces, Interfaces, Thin Films", Butterworth-Heinemann

Elettronica: Slides del corso.

Obiettivi: Affrontare problematiche di fisica dello stato solido dal punto di vista sperimentale mediante tecniche di laboratorio avanzate basate sulla microscopia a punta, sulle risonanze elettronica o nucleare e sulle tecniche di crescita in ultra alto vuoto. Approfondire le tematiche relative alla progettazione di di circuiti integrati CMOS analogici, in particolare usando il software Cadence.

Prerequisiti: laurea di I livello in fisica o equivalente

Modalità didattica: Laboratorio (5 CFU), Esercitazioni (1 CFU), Questo insegnamento sarà tenuto in inglese (solo il turno di Baschirotto).

Periodo semestre: 2° semestre

Altre informazioni: Sui siti web:

<https://www.mater.unimib.it/it>

<https://www.fisica.unimib.it/it/ricerca/elettronica-e-fisica-applicata/microelectronic-group-unimib>

è possibile trovare le informazioni sul c.v. dei docenti, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: relazione scritta ed esame orale.

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18–30/30

Programma:

Per gli studenti di Fisica dello Stato Solido il corso consiste in una esperienza di laboratorio eseguita dagli studenti in gruppi di due o tre.

Esempi di esperienze:

AFM (microscopia a forza atomica). Deposizione di epistrati nanostrutturati a semiconduttore mediante tecniche di crescita in ultra alto vuoto. SEM ed EBIC (microscopia elettronica a scansione e corrente indotta da fascio elettronico). Risonanza paramagnetica elettronica. Risonanza magnetica nucleare.

Per gli studenti di Microelettronica, il corso prevede sessioni di laboratorio orientate all'apprendimento del software Cadence (il software professionale utilizzato per lo sviluppo di circuiti integrati). Il principale obiettivo del laboratorio è acquisire gli aspetti più importanti degli ambienti di disegno e simulazione. I gruppi di lavoro saranno formati da due studenti.

I topic del corso sono:

- 1) acquisire le conoscenze per gestire le viste schematic e symbol
- 2) imparare a simulare circuiti analogici usando Analog Design Environment.
- 3) Eseguire simulazioni al variare di process/voltage/temperature.
- 4) Eseguire simulazioni di Montecarlo.

I circuiti analogici di riferimento usati per il progetto e le simulazioni saranno uno specchio di corrente, un amplificatore differenziale e un filtro analogico del 1° ordine

SOLID STATE AND ELECTRONICS LABORATORY II

6 CFU

Lecturer: Emanuele Enrico Grilli (6 CFU) - Andrea Baschirotto (6 CFU)

Contents: Experiments of solid state laboratory or electronics.

References:

G. Agostini and C. Lamberti, “Characterization of Semiconductor Heterostructures and Nanostructures”, Elsevier Science

Markov, Ivan V. , “Crystal Growth for Beginners: Fundamentals of Nucleation, Crystal Growth, and Epitaxy”, World Scientific Pub Co Inc

Charles Evans & Richard Brundle & Wilson Shaun, “Encyclopedia of Materials Characterization: Surfaces, Interfaces, Thin Films”, Butterworth-Heinemann

Electronics: Course Slides.

Aims: To measure with problems of solid state Physics from an experimental point of view by advanced experimental techniques based tip based microscopy, electron or nuclear magnetic resonance and ultra-high vacuum deposition growth

Acquire capability relative to the design of CMOS integrated analog circuits using Cadence Software.

Prerequisites: Graduate in physics or equivalent.

Teaching form: Laboratory (5 credits), Practice (1 credit), This course will be taught in English (only the lessons of Baschirotto)

Semester: second semester

More information: Informations about the teachers' c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the websites:

<https://www.mater.unimib.it/it>

<https://www.fisica.unimib.it/it/ricerca/elettronica-e-fisica-applicata/microelectronic-group-unimib>

Examination type: Written report and oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

For the student of Solid State Physics oriented, the course consist in a laboratory experience performed by a study group of two or three students. Examples of experiences:

AFM (atomic force microscopy).

Ultra High Vacuum deposition of nanostructured semiconductor heterostructures

SEM and EBIC (scanning electron microscopy and electron beam induced current)

Electron paramagnetic resonance

Risonanza paramagnetica elettronica.

Nuclear Magnetic Resonance.

For the students Microelectronics oriented, the course is mainly based on laboratory sessions, using Cadence (the leading software for analog/mixed-signal integrated circuits design). The main purpose of the laboratory is to understand and learn the most important aspects of the design/simulation environment. The working groups will be composed by two students.

The main topics of this part of the course are:

1) Creating a schematic and symbol.

2) Simulating simple analog circuits using Analog Design Environment.

3) Running process/voltage/temperature simulations.

4) Running Montecarlo simulations.

The reference analog circuits used for design and simulations are: current mirror, differential amplifier, 1st order Analog Filter.

MECCANICA STATISTICA

6 CFU

Docente: Sara Pasquetti

Contenuti: introduzione alla meccanica statistica

Obiettivi: Introduzione alla meccanica statistica.

Prerequisiti: Matematica e Fisica al livello della laurea triennale.

Modalità didattica: lezione frontale (6 cfu), Su richiesta, questo insegnamento sarà tenuto in inglese

Periodo semestre: I anno, I semestre.

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.unimib.it/sara-pasquetti> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente e il suo indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Probabilità ed entropia. Approccio all'equilibrio. Meccanica statistica all'equilibrio. Insiemi microcanonico, canonico e gran-canonicali. Gas classici e quantistici. Stabilità, metastabilità e fenomenologia delle transizioni di fase. Fenomeni critici.

STATISTICAL MECHANICS

6 CFU

Lecturer: Sara Pasquetti

Contents: introduction to statistical mechanics

Aims: Introduction to statistical mechanics.

Prerequisites: Mathematics and Physics knowledges at the three-year degree level.

Teaching form: lessons (6 credits), This course will be taught in English upon request

Semester: I year, I semester.

More information: Information about the teacher's c.v. and e-mail can be found on the website:

<https://www.unimib.it/sara-pasquetti>

Examination type: oral

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

Probability and entropy. Approach to equilibrium. Equilibrium statistical mechanics. Microcanonical, canonical e gran-canonical ensembles. Classical and Quantum Gases. Stability, metastability e phases transitions. Critical phenomenon.

METODI MATEMATICI DELLA FISICA 6 CFU

Docente: Alessandro Tomasiello

Contenuti: Teoria delle distribuzioni. Teoria dei gruppi e delle algebre di Lie; loro classificazione.

Testi di riferimento: Dispense disponibili su <https://www.dropbox.com/s/t84lftb2llgb87w/GR.pdf?dl=0>

Obiettivi: Teoria delle distribuzioni, teoria dei gruppi, e loro applicazioni alla fisica teorica.

Prerequisiti: I corsi del triennio.

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU), Questo insegnamento sarà tenuto in inglese

Periodo semestre: Primo semestre

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.fisica.unimib.it/it/ricerca/fisica-teorica/milano-bicocca-theoretical-physics-group/members> è possibile trovare le informazioni sui c.v. dei docenti e il loro indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18–30/30

Programma:

- Distribuzioni come funzionali lineari continui su funzioni di prova
- Distribuzioni temperate e trasformata di Fourier.
- Operatori integrali, teorema nucleare.
- Funzioni di Green
- Definizione di gruppo; sottogruppi, omomorfismi, rappresentazioni.
- Cenni alla definizione astratta di gruppo di Lie. Algebra di Lie. Gruppi ortogonali, unitari, di Lorentz e di Poincaré.
- Classificazione delle algebre di Lie. Algebre semisemplici. Sistemi di radici. Diagrammi di Dynkin. Classificazione delle rappresentazioni.

MATHEMATICAL METHODS FOR PHYSICS 6 CFU

Lecturer: Alessandro Tomasiello

Contents Distributions. Lie groups, Lie algebras; their representations.

References: Part 2: Lecture notes available at <https://www.dropbox.com/s/t84lftb2llgb87w/GR.pdf?dl=0>

Aims: Distributions, groups, their applications to theoretical physics.

Prerequisites: undergraduate degree in math or physics

Teaching form: Lessons (6 CFU), This course will be taught in English

Semester: First semester

More information: Information about the teachers c.v. and e-mails can be found on the website: <https://www.fisica.unimib.it/it/ricerca/fisica-teorica/milano-bicocca-theoretical-physics-group/members>

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

Distributions as continuous linear functionals on test functions.

- Tempered distributions and Fourier transform.
- Integral operators, nuclear theorem.
- Green's functions.
- Definition of group; subgroups, homomorphisms, representations.
- Sketch of abstract definition of Lie group. Lie algebras. Examples of Lie groups: orthogonal, unitary, Lorentz, Poincaré.
- Classification of Lie algebras. Semisimple algebras. Root systems. Dynkin diagrams. Classification of representations.

METODI SPERIMENTALI IN FISICA DELLE ALTE ENERGIE

6 CFU

Docente: Tommaso Tabarelli de fatis – Luigi Moroni

Contenuti: Acceleratori di particelle. Tipologie di esperimenti. Rivelatori di radiazione e loro impiego negli apparati sperimentali di misura. Gli attuali esperimenti all'energia di frontiera: ATLAS e CMS. Prospettive per il futuro.

Testi di riferimento:

K. Wille, "The Physics of Particle Accelerators"

J. Rossbach, "Basic Course on Accelerator Optics"

T. Ferbel, "Experimental Techniques in High Energy Physics"

Review of Particle Physics, J. Beringer et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D86, 010001 (2012)

L.D. Landau, "The Classical Theory of Fields"

L.D. Landau, "Mechanics"

Obiettivi: Fornire le conoscenze di base per la comprensione di un moderno esperimento di Fisica delle Alte Energie

Prerequisiti: Fondamenti di Meccanica, Elettromagnetismo, Ottica, Relatività Speciale, Struttura della Materia e Particelle Elementari.

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU)

Periodo semestre: Secondo semestre

Altre informazioni: Sul sito web del dipartimento, alla pagina <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona>, è possibile trovare le informazioni sul CV del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18–30/30

Programma:

Evoluzione delle tecniche di accelerazione di particelle e prospettive future.

Radiazione di sincrotrone e sue implicazioni sulle tecniche di accelerazione: protosincrotroni e acceleratori lineari.

Fisica degli acceleratori: principi base, linearizzazione delle equazioni di trasporto del fascio, teorema di Liouville, ellitticità ed evoluzione dello spazio-fasi, emittanza e luminosità.

Impiego dei fasci: esperimenti ai collider e a targhetta fissa.

Produzione di fasci secondari di pioni, kaoni, fotoni e neutrini.

Principali caratteristiche, limiti e prestazioni dei più importanti rivelatori: scintillatori, camere a filo, TPC, rivelatori allo stato solido e Cerenkov.

Teoria della formazione del segnale in un rivelatore: derivazione del Teorema di Ramo.

Organizzazione dei rivelatori in un apparato.

Misura del momento in uno spettrometro magnetico e risoluzioni ottenibili.

Riconoscimento di particelle a momento noto tramite misure di velocità: tempo di volo, Cerenkov a soglia o differenziale o ring-imaging, e radiazione di transizione.

Misura dell'energia e riconoscimento di particelle mediante assorbimento totale: calorimetria elettromagnetica e/o adronica.

Risoluzione energetica dei calorimetri e problema della compensazione.

Caratteristiche dei due esperimenti ATLAS e CMS: filosofia di base ed implicazioni.

Confronto delle prestazioni dei due esperimenti e loro grado di complementarità.

EXPERIMENTAL METHODS IN HIGH ENERGY PHYSICS

6 CFU

Lecturer: Tommaso Tabarelli de fatis – Luigi Moroni

Contents: Particle accelerators. High Energy Physics experiment typology. Radiation detectors and their employ in the HEP experiments. The present experiments at the HE frontier: ATLAS and CMS. Prospects for HEP experiments.

References:

K. Wille, “The Physics of Particle Accelerators”

J. Rossbach, “Basic Course on Accelerator Optics”

T. Ferbel, “Experimental Techniques in High Energy Physics”

Review of Particle Physics, J. Beringer et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D86, 010001 (2012)

L.D. Landau, “The Classical Theory of Fields”

L.D. Landau, “Mechanics”

Aims: To provide the basic knowledge to understand a modern High Energy Physics experiment.

Prerequisites: Foundations of Mechanics, Electromagnetism, Optics, Special Relativity, Structure of Matter, and Particle Physics.

Teaching form: Lessons, 6 credits

Semester: Second semester

More information: Information about the teacher’s c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website:

<https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persone>

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

Acceleration technique evolution and future prospects.

Synchrotron radiation and its impact on the accelerator techniques: proto-synchrotrons and linear accelerators.

Accelerator physics: basic concepts, linearization of the beam transport-equation, Liouville’s theorem, evolution of the phase-space ellipse, emittance and luminosity.

Beam exploitation: collider mode and fixed target experiments.

Secondary beam production: pion, kaon, photon and neutrino beams.

Main features, limits and performance of the most important detectors: scintillators, wire chambers, TPC, solid-state detectors and Cerenkov detectors.

Theory of detector signal formation: derivation of Ramo’s Theorem.

Detector organization in an experimental apparatus.

Momentum measurement with a magnetic spectrometer and achievable resolution.

Particle ID by time of flight, threshold/differential/ring-imaging Cerenkov detectors, and transition-radiation detectors.

Energy measurement and ID by total absorption of particles: EM and hadronic calorimetry.

Energy resolution of calorimeters and the compensation challenge.

Features of ATLAS and CMS experiments: basic approach and implications.

Comparative discussion of their performance and complementarity level.

MICROSCOPIA OTTICA 6 CFU

Docente: Giuseppe Chirico

Contenuti: Ottica geometrica avanzata.

Ottica Fisica: integrale di Fresnel. Ottica di Fourier e sue applicazioni.

Microscopia ottica in trasmissione, contrasto di fase e epi-fluorescenza. Microscopia ottica non lineare.

Testi di riferimento:

Klein, M. V. "Optics" / Miles V. Klein, Thomas E. Furtak . - 2. ed 1986

Diaspro, Alberto "Confocal and two-photon microscopy : foundations, applications, and advances" edited by Alberto Diaspro. Wiley, 2002.

Obiettivi: Impartire conoscenze nell'ambito dell'ottica geometrica avanzata (aberrazioni ottiche, sistemi composti da più lenti e specchi, diaframmi di campo e apertura) finalizzata alla costruzione di sistemi ottici. Fornire conoscenze nel campo dell'ottica Fisica a partire dal teorema di Fresnel e sue applicazioni ai fasci Gaussiani, le cavità laser e le fibre ottiche. Microscopia ottica lineare e non lineare.

Prerequisiti: I contenuti dei corsi di fisica della laurea triennale in Fisica.

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU), Attività seminariale (6 ore), Questo insegnamento sarà tenuto in inglese

Periodo semestre: secondo semestre

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma: Nel corso vengono approfonditi alcuni aspetti dell'applicazione delle tecniche spettroscopiche e microscopiche allo studio della materia biologica a livello nanoscopico. In particolare vengono trattati: Ottica di Fourier e di ottica geometrica con applicazioni alla microscopia ottica: metodo matriciale per la soluzione di sistemi ottici complessi; coefficienti di Fresnel di riflessione e rifrazione; teoria della coerenza classica in ottica; teorema di Fresnel e sue applicazioni (filtraggio spaziale, fasci Gaussiani, cavità laser). Cenni a fibre ottiche. Introduzione alla microscopia in fluorescenza con eccitazione lineare e non lineare: two-photon excitation microscopy, Second harmonic generation microscopy, CARS.

OPTICAL MICROSCOPY 6 CFU

Lecturer: Giuseppe Chirico

Contents: Advanced geometrical optics and Physical (Fourier) optics.

References:

Klein, M. V. "Optics" Miles V. Klein, Thomas E. Furtak . - 2. ed 1986

Diaspro, Alberto "Confocal and two-photon microscopy : foundations, applications, and advances, edited by Alberto Diaspro. Wiley, 2002.

Aims: To provide knowledge in the field of advanced geometrical optics and Fourier optics applied to microscopy.

Prerequisites: The contents of the courses in physics and laboratories attended during the first three years.

Teaching form: Lessons (6 CFU), Tutorials (6 hours), This course will be taught in English

Semester: second semester

More information: Informations about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website: <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona>

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus: Applications of optical spectroscopy and microscopy to the study of the soft matter. In particular: Geometrical optics of complex compound systems; Fresnel coefficients; classical coherence theory and applications; Fourier optics, spatial filtering, Gaussian beams. Optical fibers. Introduction to optical microscopy in transmission and epifluorescence: confocal and non-linear microscopy.

PROCESSI RADIATIVI

6 CFU

Docente: Gabriele Ghisellini

Contenuti: Plasmi termici e non termici. Corpo Nero. Bremsstrahlung. Beaming relativistico. Emissione di sincrotrone e auto-assorbimento. Compton diretto e Compton inverso. Processi di produzione di coppie e+e-. Nuclei Galattici Attivi. Introduzione, fenomenologia generale, calcolo dei parametri fisici fondamentali.

Testi di riferimento:

My notes.

G.B. Rybicki and A.P. Lightman "Radiative Processes in Astrophysics"

M.S. Longair "High Energy Astrophysics."

J. Krolik "Active Galactic Nuclei. From the black hole to the Galactic Environment."

Obiettivi: Essere in grado di ricavare alcune proprietà fisiche fondamentali delle sorgenti cosmiche di alta energia sulla base della radiazione ricevuta.

Prerequisiti: Meccanica classica, elettromagnetismo classico.

Modalità didattica: Lezione (6 CFU)

Periodo semestre: Primo semestre

Altre informazioni: Sul sito <http://www.brera.inaf.it/> è possibile avere informazioni sul curriculum, indirizzo, numero di telefono del docente.

Modalità dell'esame: Esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Luminosità, flusso, emissività, densità di energia e loro relazioni. Trasporto radiativo. Coefficienti di Einstein e loro relazioni. Plasmi termici e non termici. Collisioni Coulombiane: sezione d'urto. Campo elettrico di una carica in moto. Formula di Larmor. Bremsstrahlung e corpo nero.

Richiamo nozioni di relatività speciale. Sbarra in moto lungo la sua lunghezza. Quadrato in moto. Aberrazione. Sorgenti superluminali. Beaming. Statistica di sorgenti superluminali.

Sincrotrone: accelerazione, raggio e frequenza di Larmor. Potenza emessa dal singolo elettrone. Frequenze caratteristiche. Spettro emesso. Autoassorbimento.

Scattering Thomson: sezione d'urto. Effetto Compton diretto: frequenze tipiche. Sezione d'urto Klein-Nishina: generalità. Luminosità di Eddington. Frequenze tipiche Compton Inverso. Potenza emessa dal singolo elettrone.

Spettro da una distribuzione di elettroni. Comptonizzazione termica. Parametro di Comptonizzazione. Spettri. Sincrotrone-Self-Compton.

Coppie elettrone-positrone. Plasmi termici. Plasmi di Wien. Energia di soglia per fotone-fotone. Assorbimento dovuto alla produzione di coppie. Riemissione. Spettro risultante in condizioni di assorbimento completo.

Nuclei Galattici Attivi. Introduzione storica. Componenti principali. Masse buchi neri, correlazione con luminosità del bulge e relazione M-sigma. Dischi di accrescimento. Spettro, derivazione analitica. Righe larghe, Righe strette. Quantità fisiche principali. Corona X. Spettro X come Comptonizzazione termica. Compton reflection. Riga del ferro relativistica. Righe in ottico larghe e strette.

Toro molecolare e schemi unificati per Seyfert 1 e 2. Background X: cenni. Getti: introduzione. Radiogalassie FR I e FR II. Sorgenti con spettro radio ripido e piatto. Minima energia dei lobi radio e condizione di equipartizione. Introduzione ai blazars.

RADIATIVE PROCESSES

6 CFU

Lecturer: Gabriele Ghisellini

Contents: Thermal and non-thermal plasmas. Black body. Bremsstrahlung Relativistic Beaming Synchrotron emission and self-absorption Compton and inverse Compton $e+e-$ pair production processes Active Galactic Nuclei. Introduction, general phenomenolog, derivation of the fundamental physical parameters.

References:

My notes.

G.B. Rybicki and A.P. Lightman “Radiative Processes in Astrophysics”

M.S. Longair “High Energy Astrophysics.”

J. Krolik “Active Galactic Nuclei. From the black hole to the Galactic Environment.”

Aims: To be able to derive some physical properties of high energy cosmic sources on the basis of the information contained in the received radiation.

Prerequisites: Classical Mechanics, classical electromagnetism.

Teaching form: Lessons, 6 credits

Semester: first semester

More information: On the web-site <http://www.brera.inaf.it/> there are information on my CV, address, telephone number

Examination type: Oral examination

Mark range: 18-30/30

Syllabus:

Luminosity, flux, emissivity, radiation energy density and their relations. Radiative transport. Einstein coefficients and their relations. Thermal and non-thermal plasmas. Coulomb Collisions: cross section. Electric field of a moving charge. Larmor formula. Bremsstrahlung and black body.

Brief summary of special relativity. The moving bar. A moving square. Aberration of light. Superluminal sources. Beaming. Statistics of superluminal sources.

Synchrotron: particle acceleration, Larmor radius and frequency. Power emitted by a single electron. Characteristic frequency. Emitted spectrum. Self-absorption.

Thomson scattering: cross section. Direct Compton: typical frequencies. Klein-Nishina cross section: generalities. Eddington luminosity. Typical frequencies of inverse Compton. Power emitted by the single electron. Spectrum emitted by an ensemble of electrons. Thermal Comptonization. Comptonization parameter. Spectra. Synchrotron Self-Compton.

Electron-positron pairs. Thermal plasmas, Wien plasmas. Energy threshold for photon-photon collisions producing pairs. Absorption due to $e+e-$ creation. Re-emission. Resulting spectrum in the case of complete absorption.

Active Galactic Nuclei. Historical introduction. Main components. Black hole masses, correlation with bulge luminosity and M -sigma relation. Accretion disks. Spectrum: analytical derivation. Broad and narrow emission lines. Characteristics and main physical quantities. X-ray Corona. Thermal Comptonization.

Compton reflection. Relativistically broadened Iron lines. Molecular torus and unified schemes for Seyfert 1 and 2. X-ray background. Jets: introduction. FRI and FRII radio-galaxies. Flat and steep radio spectrum sources. Minimum energy and equipartition condition. Introduction to blazars.

RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE NON IONIZZANTI

6 CFU

Docente: Giuseppe Sgorbati

Contenuti: Interazione della radiazione elettromagnetica non ionizzante con gli organismi viventi e protezione delle persone contro gli effetti delle tecnologie del settore delle telecomunicazioni

Testi di riferimento:

“PROTEZIONE DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI NON IONIZZANTI”, D. Andreuccetti, IROE – CNR, 2001.

“RADIOFREQUENCY RADIATION DOSIMETRY HANDBOOK”, USAF School of Aerospace Medicine, Aerospace Medical Division (AFSC), Brooks Air Force Base - October 1986.

“LINEE GUIDA PER LA LIMITAZIONE DELL’ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI VARIABILI NEL TEMPO ED A CAMPI ELETTROMAGNETICI (FINO A 300 GHz)”, Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP)^{1,2}; (Traduzione italiana di: Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics 74: 494-522 (1998)).

“GUIDA ALLA REALIZZAZIONE DI UNA STAZIONE RADIO BASE PER RISPETTARE I LIMITI DI ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI IN ALTA FREQUENZA (Guida CEI 211-10;V1)”, Comitato Elettrotecnico Italiano 01/01/2004.

Obiettivi: Fornire conoscenze sull’interazione della radiazione elettromagnetica non ionizzante con i tessuti biologici, fornire conoscenze e competenze per la gestione di aspetti protezionistici relativi alle tecnologie suscettibili di esporre persone a campi elettromagnetici, fornire conoscenze sulle moderne tecnologie delle telecomunicazioni.

Prerequisiti: Elettrostatica ed elettrodinamica, teoria del campo elettromagnetico, termodinamica, analisi matematica.

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU), Attività seminariali (4 ore), Seminari didattici con partecipazione di esperti

Periodo semestre: Secondo

Altre informazioni: Sul sito web www.arpalombardia.it è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, di lavoro, e l’indirizzo e-mail. Il ricevimento studenti può essere fissato su appuntamento

Modalità dell’esame: Orale. E’ eventualmente prevista la predisposizione di una tesina su materie omogenee con il corso.

Valutazione dell’esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Parte prima: richiami e fondamenti

Equazioni di Maxwell. Caratterizzazione del campo elettromagnetico: onde sferiche, il vettore S, impedenza d’onda. Velocità del campo elettromagnetico nel vuoto e nei mezzi, riflessione, rifrazione.

Cavità risonante, onde stazionarie, fenomeni di risonanza, ROS.

Parte seconda: trasmissione del segnale radio, aspetti fisici

Il radiatore isotropo ed anisotropo, antenne, finalità dell’impiego delle antenne, caratteristiche principali.

Campo vicino e campo distante, antenne corte ed antenne lunghe: esempi. Esempi di calcolo dei principali parametri del campo elettromagnetico in ambiente.

Parte terza: aspetti tecnologici

Tecniche analogiche e digitali di codifica di informazioni sulla portante radio. Approfondimenti sui sistemi di telefonia mobile: 1°, 2°, 3°, 4° G, copertura cellulare, reti, broadcast.

Parte Quarta: interazione campi elettromagnetici - materia

Campi elettromagnetici oscillanti e comportamento della materia: i dielettrici e le perdite.

Parte quinta: esposizione del corpo umano e risposta all’assorbimento di energia

Dosimetria del campo elettromagnetico a radiofrequenza: il SAR. Assorbimento dipendente del corpo umano: curve (NSAR). Risposta fisiologica e patologica alla deposizione di energia: termoregolazione, effetti deterministici.

Parte sesta: radioprotezione operativa

Raccomandazioni ICNIRP, Direttive e Raccomandazioni Comunitarie, normativa nazionale: tutela della popolazione, tutela dei lavoratori e limiti previsti dalla normativa internazionale e nazionale.

Parte settima: rischi stocastici

L’approccio di sistema: studi in vivo, in vitro, epidemiologici. Nozioni di epidemiologia: studi ecologici, studi di coorte, studi caso – controllo. I principali studi epidemiologici e le loro risultanze.

NON IONIZING ELECTROMAGNETIC RADIATION 6 CFU

Lecturer: Giuseppe Sgorbati

Contents: Interaction of non ionizing electromagnetic radiation with living organisms and protection of persons against the effects of the technologies of the telecommunications sector

References:

“PROTEZIONE DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI NON IONIZZANTI”, D. Andreuccetti, IROE – CNR, 2001.

“RADIOFREQUENCY RADIATION DOSIMETRY HANDBOOK”, USAF School of Aerospace Medicine, Aerospace Medical Division (AFSC), Brooks Air Force Base - October 1986

“LINEE GUIDA PER LA LIMITAZIONE DELL’ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI VARIABILI NEL TEMPO ED A CAMPI ELETTROMAGNETICI (FINO A 300 GHz)”, Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP)^{1,2}; (Traduzione italiana di: Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics 74: 494-522 (1998)).

“GUIDA ALLA REALIZZAZIONE DI UNA STAZIONE RADIO BASE PER RISPETTARE I LIMITI DI ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI IN ALTA FREQUENZA (Guida CEI 211-10;V1)”, Comitato Elettrotecnico Italiano 01/01/2004.

Aims: To provide knowledge on the interaction of non ionizing electromagnetic radiation with biological tissues, provide knowledge and skills for the management of protectionist aspects related to the technologies likely to expose people to electromagnetic fields, provide knowledge on modern telecommunications technologies.

Prerequisites: Electrostatics and electrodynamics, electromagnetic field theory, thermodynamics, mathematical analysis

Teaching form: Lessons (6 CFU), Tutorials (4 hours) , Educational seminars with participation of experts

Semester: Second semester

More information: on the website www.arpalombardia.it you can find information about cv the teacher, the phone number of the study, workplace, and e-mail. Meeting can be fixed by appointment

Examination type: Oral examination. In case, it could be provided for the preparation of a short paper on arguments homogeneous with the course.

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

Part One: calls and foundations

Maxwell’s equations. Characterization of the electromagnetic field: spherical waves, the vector S , wave impedance. Speed of the electromagnetic field in vacuum and in the media, reflection, refraction. Resonant cavity, standing waves, resonance phenomena, ROS.

Part Two: radio signal transmission, physical

The isotropic and non isotropic radiator, antennas, antennas and key features. Near field and far field, short and long antennas: examples. Examples of calculation of the main parameters of the electromagnetic field in environment.

Part Three: technological aspects

Analog and digital techniques of information coding on the radio carrier. Insights on mobile phone systems: 1st, 2nd, 3rd, 4th generation, networks, RTV broadcast. Part Four: Interaction electromagnetic fields – matter. Oscillating electromagnetic fields and behavior of matter: dielectrics and losses.

Part Five: exposure of the human body and response to energy absorption

Radio-frequency electromagnetic field dosimetry: the SAR. Frequency-dependent absorption of the human body: curves (NSAR). Physiological and pathological response to the deposition of energy: thermoregulation, deterministic effects.

Part Six: operational radiation protection

ICNIRP recommendations, EU directives and recommendations, national legislation: protection of the public, protection of workers.

Part Seven: stochastic risks

The system approach: studies in vivo, in vitro, epidemiological. Concepts of epidemiology: ecological studies, cohort studies, case - control studies. The main epidemiological studies and their findings.

RADIOATTIVITÀ

6 CFU

Docente: Ezio Previtali

Testi di riferimento:

Obiettivi: Discussione delle principali problematiche ambientali legate alla radioattività sia naturale che artificiale con valutazione dei vari effetti biologici che da queste possono derivare.

Prerequisiti:

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU), Attività seminariali (4 ore)

Periodo semestre: 2

Altre informazioni:

Modalità dell'esame: orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma: Introduzione alla radioattività. Unità di misura adottate e cenni di dosimetria delle radiazioni. Studio e discussione delle principali catene naturali ^{238}U , ^{232}Th e ^{235}U . Definizione di equilibrio secolare e sue eventuali rotture. Radioattività naturale di origine fossile e cosmogenica. Studio ed utilizzo delle tavole dei nuclidi. Radiazione cosmica. Cenni ai reattori nucleari ed ai problemi dovuti alle scorie di origine sia militare che civile. Trattamento delle scorie e tecniche di smaltimento. Procedure di arricchimento dell'uranio. Tecniche di spettroscopia alfa, beta, gamma. Interpretazione quantitativa delle misure di radioattività. Tecniche di attivazione neutronica e misura di elementi in tracce. Studio e misura del Radon. Applicazioni della radioattività a vari campi della scienza.

RADIOACTIVITY

6 CFU

Lecturer: Ezio Previtali

Aims: A general discussion of the main problems related to the radioactivity, natural and artificial, with an evaluation of biological effects produced.

:

Teaching form: Lessons (6 CFU), Tutorials (4 hours)

Semester: 2

Examination type: oral

Mark range: 18–30/30

Syllabus: Introduction to radioactivity. Unit adopted and radiation dosimetry. Discussion of the main radioactive chains ^{238}U , ^{232}Th and ^{235}U . Definition of secular equilibrium and indication of possible broken conditions. Natural radioactivity from fossils and from cosmic rays production. General use of the chart of nuclides. Cosmic rays. Introduction to nuclear reactor and problems related to radioactive waste. Radioactive waste processing and storage. Uranium enrichment. Alpha, beta and gamma spectroscopy. Evaluation of the radioactive measurements. Neutron activation techniques and measurements of trace elements. Evaluation of Radon contents. Discussion of some radioactivity application.

RAGGI COSMICI

6 CFU

Docente: Massimo Gervasi

Contenuti: Sono descritti i Raggi Cosmici (RC), con riferimento ai dati sperimentali esistenti, la loro composizione e le loro proprietà. Tra gli argomenti affrontati sono; l'origine dei RC e i processi di accelerazione; la propagazione dei RC nella galassia e l'interazione con il mezzo interstellare; la modulazione solare e l'interazione dei RC con il vento solare; l'interazione con il campo magnetico terrestre, i fenomeni di intrappolamento e taglio geomagnetico; l'interazione con l'atmosfera terrestre e la produzione di sciami atmosferici.

Testi di riferimento:

M. S. Longair, "High Energy Astrophysics", Cambridge University press, II edition.

Obiettivi: Introdurre la fisica dei Raggi Cosmici e la loro rilevanza in Astrofisica.

Prerequisiti: I contenuti dei corsi di fisica di base della laurea triennale in Fisica.

Modalità didattica: Lezione frontale, Questo insegnamento sarà tenuto in inglese

Periodo semestre: Secondo semestre

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.unimib.it/massimo-gervasi> è possibile trovare le informazioni sul CV del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Colloquio Orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Evidenze sperimentali ed Origine dei Raggi Cosmici:

Definizioni di base e grandezze misurate; Proprietà dei RC; Origine e composizione; Distribuzione Spettrale; Scoperta e storia dei RC; Maggiori esperimenti; Luoghi e meccanismi di generazione dei RC; Evidenze di RC da sorgenti compatte; Processi di accelerazione.

Propagazione nella Galassia:

La Galassia, il mezzo interstellare, il campo magnetico interstellare; Propagazione dei RC nella galassia e interazione con il mezzo interstellare; Modelli diffusivi e leaky box; Perdite di energia dei RC ed effetti radiativi.

Eliosfera e modulazione solare:

Il Sole; La cavità solare: campo magnetico e vento solare; Modulazione solare e interazione dei RC con il vento solare; Attività solare ed eventi solari transienti: Flares e CME.

La magnetosfera terrestre:

Il campo magnetico terrestre: campo interno e campo esterno; Intrappolamento e fasce di radiazione; Taglio geomagnetico; Disturbi magnetici ed Aurore polari.

Sciami atmosferici:

L'atmosfera terrestre; Interazione con l'atmosfera e produzione di sciami; Neutron Monitor.

Implicazioni Cosmologiche e di Fisica fondamentale:

Raggi Cosmici extragalattici; Anisotropia dei RC; Strutture fini negli spettri; Ricerca di segnali di Dark Matter; Ricerca di antimateria di origine primordiale.

COSMIC RAYS

6 CFU

Lecturer: Massimo Gervasi

Contents: Cosmic rays (CR) will be described in relation to the experimental data, their composition and properties. Main topics will be: origin and sources of CR; acceleration processes; interaction with interstellar medium; propagation in the Milky Way; interaction with solar wind; propagation in the solar cavity; interaction with the Earth magnetic field; radiation belts and geomagnetic cut-off; interaction with Earth atmosphere; atmospheric showers.

References:

M. S. Longair, "High Energy Astrophysics", Cambridge University press, II edition.

Aims: Introduction to Cosmic Ray physics and their importance for Astrophysics

Prerequisites:

Fundamental Physics courses of the degree in Physics.

Teaching form: Lessons, This course will be taught in English

Semester: second semester

More information: Informations about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website:

<https://www.unimib.it/massimo-gervasi>

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

Experimental evidences and origin of Cosmic Rays

Definitions and physics quantities; Properties of CR; Origin and composition; Spectral distribution; Discovery and history of CR; Experiments Places and mechanisms of generation of CR; Evidences of CR in compact sources; Acceleration processes.

Propagation in the Galaxy

Milky Way, interstellar medium, interstellar magnetic field; CR propagation in the galaxy and interaction with ISM; Diffusive and leaky box models; Energy losses and radiation effects.

Heliosphere and solar modulation

The Sun; Solar cavity: solar wind and interplanetary magnetic field; Interaction of CR with SW and solar modulation; Solar activity and transient solar events: Flares and CME.

Earth magnetosphere

The earth magnetic field: internal and external fields; Trapping processes and radiation belts; geomagnetic cut-off; Magnetic disturbances and polar Aurorae.

Atmospheric showers

The earth atmosphere; Interaction of CR with atmosphere and shower production; Neutron Monitor.

Cosmology and fundamental Physics implications

Extragalactic CR; Anisotropy of CR; Fine structures in CR spectra; Signals of Dark Matter in CR; Search for anti-matter of primordial origin.

RELATIVITÀ GENERALE

6 CFU

Docente: Alessandro Tomasiello

Contenuti:

1. Principi ed equazioni della relatività generale.
2. Elementi di geometria differenziale.
3. Fisica dei buchi neri.
4. Elementi di cosmologia.

Testi di riferimento: Dispense disponibili su <https://www.dropbox.com/s/t84lftb2llgb87w/GR.pdf?dl=0>

Obiettivi: Relatività generale e sue applicazioni.

Prerequisiti: I corsi del triennio.

Modalità didattica: Lezione frontale, 6 cfu.

Periodo semestre: Primo semestre

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.unimib.it/alessandro-tomasiello> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente e il suo indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

- 1) Richiami di relatività speciale. Spaziotempo di Minkowski.
- 2) Principio di equivalenza. Osservatori accelerati.
- 3) Elementi di geometria differenziale. Il concetto di curvatura. Curve geodetiche.
- 4) Fisica su spazi curvi. Curvatura e gravità. Le equazioni di Einstein. Cenni di trattamento Hamiltoniano. Formalismo delle tetrad.
- 5) Onde gravitazionali. Buchi neri: di Schwarzschild, carichi, rotanti. Definizione di massa in relatività generale. Causalità.
- 6) Elementi di cosmologia. Spazi di de Sitter e anti de Sitter.

GENERAL RELATIVITY

6 CFU

Lecturer: Alessandro Tomasiello

Contents:

1. Principles and equations of general relativity.
2. Elements of differential geometry.
3. Black hole physics.
4. Elements of cosmology.

References: Lecture notes available at <https://www.dropbox.com/s/t84lftb2llgb87w/GR.pdf?dl=0>

Aims: General relativity and applications.

Prerequisites: Undergraduate degree in physics.

Teaching form: Lessons, 6 credits.

Semester: First semester

More information: Information about the teacher's c.v. and e-mail can be found on the website:

<http://dl.dropbox.com/u/9571828/mathphys.pdf>

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

- 1) Summary of special relativity. Minkowski spacetime.
- 2) Equivalence principle. Accelerated observers.
- 3) Elements of differential geometry. Curvature. Geodesics.
- 4) Physics on curved spaces. Curvature and gravity. Einstein's equations. Rudiments of Hamiltonian treatment. Vielbein formalism.
- 5) Gravitational waves. Black holes: Schwarzschild, charged, rotating solutions. Definition of mass in general relativity. Causality.
- 6) Elements of cosmology. De Sitter and anti-de Sitter spaces.

RIVELATORI DI RADIAZIONI

6 CFU

Docente: Chiara Brofferio

Contenuti: Richiami di interazione radiazione–materia, radioattività e principi base di funzionamento dei rivelatori a gas, a semiconduttore e degli scintillatori. Proprietà generali dei rivelatori di radiazione ionizzante. Interazione dei neutroni con la materia e loro rivelazione. Spettroscopia alfa, beta e gamma. Processamento e formatura del segnale. Problemi di fondo e schermatura dei rivelatori.

Testi di riferimento:

G.F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement", 4th ed., Wiley & Sons

Obiettivi: Il corso vuole fornire una panoramica sulle tecniche di rivelazione per particelle cariche, neutroni e fotoni di bassa energia (fino a 20 MeV circa) in uso in diversi campi della fisica sperimentale ed applicata.

Prerequisiti: I contenuti dei corsi di Fisica della Laurea, con particolare riguardo all' elettromagnetismo nel vuoto e nei materiali, la relatività speciale, la struttura della materia ed elementi di fisica nucleare.

Modalità didattica: Lezione frontale (4 CFU), Laboratorio (2 CFU)

Periodo semestre: Primo semestre

Altre informazioni: Sul sito web del dipartimento, alla pagina <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persone>, è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Esame orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18–30/30 e lode

Programma:

Richiami sull' interazione della radiazione con la materia e sulle sorgenti radioattive

Statistica di conteggio e propagazione degli errori. Ottimizzazione di conteggio, limiti di rivelabilità e statistica degli intervalli di tempo.

Proprietà generali dei rivelatori di radiazione ionizzante: spettri, curve di conteggio e plateau; efficienza; risoluzione energetica, spaziale e temporale; tempo morto.

Rivelatori a gas: camere a ionizzazione, contatori proporzionali, contatori Geiger.

Rivelatori a scintillazione: sistema generale di rivelazione con scintillatori; proprietà generali degli scintillatori; scintillatori inorganici; scintillatori organici; scintillatori plastici. Fotodiodi e fotocelle, fotomoltiplicatori.

Considerazioni generali per la spettroscopia con scintillatori. Funzioni di risposta.

Rivelatori a semiconduttore: germani, silici, altri rivelatori a stato solido

Bolometri

Interazione dei neutroni con la materia e loro rivelazione.

Processamento e formatura del segnale: Impedenze. Cavi coassiali. Formatura.

Strumentazione di elettronica nucleare: unità di base per studio della forma del segnale, conteggio, studi temporali. Analisi degli spettri con MCA

Problemi di fondo e schermatura dei rivelatori

RADIATION DETECTORS

6 CFU

Lecturer: Chiara Brofferio

Contents: Recalls on radiation-matter interactions, radioactivity, basic principles of gas and semiconductor detectors as well as scintillators. General properties of ionizing radiation detectors. Neutron interactions with matter and their detection. Alpha, beta and gamma spectroscopy. Signal shaping and processing. Background problems and detector shieldings

References:

G.F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement", 4th ed., Wiley & Sons

Aims: The course is aimed at a review on the photon and particle detection techniques, up to energies around 20 MeV, in use in radiation measurements in different fields of experimental physics and applied physics.

Prerequisites: All the Physics topics encountered during the Undergraduate Physics Classes, in particular Electromagnetism, in vacuum and in material, Special Relativity, Structure of Matter and the Introduction to Nuclear Physics.

Teaching form: Lessons (4 CFU), Laboratory (2 CFU)

Semester: First semester

More information: Information about the teacher's CV, telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persone>.

Examination type: Oral examination

Mark range: 18/30–30/30 cum laude

Syllabus:

Brief recall of radiation interaction with matter and of radiation sources.

Counting statistics and error propagation. Optimization of counting experiments, limits of detectability and distribution of time intervals.

General properties of radiation detectors: spectra, counting curves and plateau; efficiency; energy, time and position resolution; dead time.

Gas detectors: ionization chambers, proportional counters, Geiger counters.

Scintillators: general approach of detection with scintillators, general characteristics of inorganic, organic, plastic scintillators. Photodiodes and photocells, photomultipliers.

General considerations on radiation spectroscopy with scintillators. Response functions.

Semiconductor detectors: Ge, Si and other solid state detectors.

Bolometers.

Neutron interaction with matter and their detection.

Signal shaping and processing: device impedances, coaxial cables, shaping

Nuclear electronic devices: basic units for signal shape processing, counting, timing studies.

Multichannel pulse analysis.

Background problems and detector shielding

SIMULAZIONE MONTECARLO DI RIVELATORI DI RADIAZIONE

6 CFU

Docente: Gabriele Croci

Contenuti: Simulazione MC di rivelatori di radiazione. Apprendimento uso GEANT4. Apprendimento uso ROOT. Apprendimento uso Garfield.

Testi di riferimento:

Manuali Geant4 e ROOT

G.F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement"

Obiettivi: Obiettivo del corso è l'apprendimento dei più aggiornati strumenti di simulazione numerica attualmente disponibili sull'interazione particelle-materia e, in particolare, sul funzionamento di rivelatori di radiazione a gas.

Prerequisiti: Fisica I e Fisica II

Modalità didattica: Lezione frontale, Esercitazione, Blended Learning, Questo insegnamento sarà tenuto in inglese

Periodo semestre: Secondo semestre

Altre informazioni: Sul sito web del dipartimento, alla pagina <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persone>, è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Obiettivo del corso è l'apprendimento dei più aggiornati strumenti di simulazione numerica attualmente disponibili sull'interazione particelle-materia e, in particolare, sul funzionamento di rivelatori di radiazione a gas. Trattandosi di una attività svolta prevalentemente al computer si presta bene ad una modalità di apprendimento di tipo e-learning. Sono comunque previste alcune lezioni frontali di natura introduttiva, e due sessioni di laboratorio in cui gli studenti potranno verificare il funzionamento dei dispositivi simulati e la corrispondenza tra simulazione e comportamento reale. Il corso prevede un totale di 6 CFU ripartiti tra lezione Frontale e Blended-Learning.

Al centro del corso è l'apprendimento dell'utilizzo della piattaforma di simulazione di interazione particelle-materia GEANT4 (<http://geant4.cern.ch/>) e del programma di analisi dati ROOT (<http://root.cern.ch/>, entrambi liberi) Infine, per la simulazione dei rivelatori a gas utilizzati nel laboratorio, è previsto anche l'utilizzo di un programma di simulazione specifico denominato GARFIELD (<http://garfield.web.cern.ch/garfield/>).

Obiettivo delle lezioni frontali è di fornire agli studenti i) le conoscenze di base necessarie a descrivere le interazioni fisiche fondamentali che avvengono nei rivelatori di radiazione a gas e ii) le conoscenze di base necessarie per comprendere i modelli matematico-numeriche utilizzati nella simulazione dei processi d'interazione all'interno di un rivelatore.

Le conoscenze di base saranno approfondite e messe in atto nella parte centrale del corso che riguarda l'apprendimento dei programmi di simulazione. Questa fase del corso sarà svolta in modalità remota utilizzando un sito web specifico del corso. Nell'ultima parte del corso gli studenti avranno accesso a un laboratorio dotato di rivelatori a gas di tipo GEM (Gas Electron Multiplier) utilizzati per la rivelazione di radiazione in numerosi esperimenti di fisica di base e applicata. Si prevedono tre sessioni di quattro ore ciascuna dove confrontare i risultati ottenuti dalle simulazioni con i dati misurati con i rivelatori.

MC SIMULATION OF RADIATION DETECTORS

6 CFU

Lecturer: Gabriele Croci

Contents:MC Simulation of radiation detectors. Learning GEANT4. Learning ROOT. Learning Garfield.

References:

Geant4 and ROOT manuals

G.F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement"

Aims:

The objective of the course is to learn the up-to-date numeric simulation instruments presently available about the radiation matter interaction and in particular about the operation of gaseous radiation detectors.

Recommended knowledge: Physics I and Physics II

Teaching form:

Lessons, exercises, blended Learning This course will be taught in English

Semester: Second semester

More information: On the web site <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona> it is possible to find all the information about the lecturer c.v, the office telephone number, the location in the university, the student reception time and the e-mail address.

Examination type: Oral examination

Mark range: Mark in thirtieth 18-30/30

Syllabus:

The aim of the course is learning the latest numerical simulation tools currently available about particle-matter interaction and, in particular about the functioning of radiation gaseous detectors. Since this is a work performed mainly on the computer, it lends itself well to a e-learning mode. However, some introductory lectures are foreseen as well as two laboratory sessions in which students will be able to check the operation of the simulated devices and the correspondence between simulation and actual behavior. The course includes a total of 6 credits distributed between front and Blended-Learning lesson. The most important aim of the course is learning how to use the simulation platform of particle-matter interaction GEANT4 (<http://geant4.cern.ch/>) and to learn the ROOT data analysis program (<http://root.cern.ch/>, both are free and accessible on the network). Finally, for the simulation of gas detectors used in the laboratory, it will be also provided the use of a specific simulation program called GARFIELD. The purpose of the lectures is to provide students i) the basic knowledge needed to describe the fundamental physical interactions that occur in radiation gaseous detectors ii) the basic knowledge necessary to understand the mathematical models used in the numerical simulation of the processes of interaction within a detector

The basic knowledge will be further developed in the central part of the course that is about learning of simulation programs. This phase of the course will be carried out remotely using a specific. In the last part of the course, students will have access to a laboratory equipped with a GEM (Gas Electron Multiplier) gas detectors type that is used for the detection of radiation in many physics experiments. Three sessions of four hours each, where it will be possible to compare the results obtained from the simulations and the data measured by the detectors are foreseen.

SPETTROSCOPIA OTTICA DELLO STATO SOLIDO

6 CFU

Docente: Emanuele Enrico Grilli

Contenuti:

Luce e colore. Proprietà ottiche fondamentale dei solidi, da un punto di vista classico e quantistico. Relazioni di dispersione di Kramers-Kronig. Stati elettronici in semiconduttori e processi di ricombinazione da stati eccitati. Interfacce, strutture a confinamento quantico. Proprietà ottiche non lineari dei solidi.

Testi di riferimento:

F. Wooten "Optical Properties of Solids", Academic Press

R. Dalven "Introduction to Applied Solid State Physics", Plenum Press

J.I. Pankove "Optical Processes in Semiconductors", Dover Publ.

M. Jaros "Physics and Application of Semiconductor Microstructures", Oxford Univ. Press

A. Yariv "Quantum Electronics", J. Wiley & Sons

A. Yariv "Introduction to Optical Electronics", Holt McDougal

Obiettivi: Comprensione delle proprietà ottiche lineari e non lineari dei solidi, da un punto classico e da un punto di vista quantistico, in relazione alla struttura elettronica dei solidi cristallini.

Prerequisiti: Laurea di I livello in fisica o equivalente e basi di fisica dello stato solido

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU), Attività seminariali (6 ore)

Periodo semestre: 2° semestre

Altre informazioni: Sul sito web: <https://www.mater.unimib.it/it> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Luce e colore.

Proprietà ottiche fondamentale dei solidi: dai modelli classici di Lorentz e di Drude alla teoria quantistica dell'assorbimento e della dispersione; transizione interbanda dirette ed indirette, punti critici e strutture eccitoniche.

Relazioni di dispersione di Kramers-Kronig e loro applicazione alla riflettività.

Stati elettronici in semiconduttori: struttura a bande di semiconduttori dei gruppi IV e III-V; stati legati (difetti, impurezze, eccitoni).

Processi di ricombinazione da stati eccitati, con particolare attenzione alle transizioni radiative. Effetti di alto drogaggio.

Interfacce, buche quantiche, superreticoli, fili quantici e punti quantici.

Proprietà ottiche non lineari dei solidi: dal modello dell'oscillatore anarmonico alla propagazione ed interazione delle onde nei cristalli non lineari. Generazione di seconda armonica, frequency mixing, up-conversion e fenomeni parametrici.

SOLID STATE OPTICAL SPECTROSCOPY

6 CFU

Lecturer: Emanuele Enrico Grilli

Contents: Light and color. Fundamental optical properties of solids from a classic and quantum point of view. Kramers-Kronig dispersion relations. Electronic states in semiconductors and recombination processes from excited states. Interfaces, quantum confined structures. Nonlinear optical properties of solids.

References:

F. Wooten "Optical Properties of Solids", Academic Press

R. Dalven "Introduction to Applied Solid State Physics", Plenum Press

J.I. Pankove "Optical Processes in Semiconductors", Dover Publ.

M. Jaros "Physics and Application of Semiconductor Microstructures", Oxford Univ. Press

A. Yariv "Quantum Electronics", J. Wiley & Sons

A. Yariv "Introduction to Optical Electronics", Holt McDougal

Aims: Understanding the linear and nonlinear optical properties of solids from a classical and from a quantum point of view, in connection with the electronic structure of crystalline solids.

Prerequisites: Graduate in physics or equivalent and basis of solid state physics

Teaching form: Lessons (6 CFU), Tutorials (6 hours)

Semester: second semester

More information: Informations about the teacher's c.v., telephone number, university room, office hours and e-mail can be found on the website: <https://www.mater.unimib.it/it>.

Examination type: Oral examination

Mark range: 18-30/30

Syllabus:

Light and color.

Fundamental optical properties of solids: from the classical models of Lorentz and Drude to the quantum theory of absorption and dispersion; direct and indirect interband transitions, critical points and excitonic structures.

Kramers-Kronig dispersion relations and their application to reflectivity.

Electronic states in semiconductors: band structures of group IV and group III-V semiconductors; bound states (defects, impurities, excitons). Recombination processes from excited states, with particular attention to the radiative transitions. Heavy doping effects.

Interfaces, quantum wells, superlattices, quantum wires and quantum dots.

Nonlinear optical properties of solids: from the anharmonic oscillator model to wave propagation and interaction in a nonlinear crystal. Second harmonic generation, frequency mixing, up-conversion and parametric phenomena.

STRUMENTAZIONE ASTRONOMICA

6 CFU

Docente: Mario Zannoni

Contenuti: Introduzione ai principi fisici di funzionamento dei telescopi e dei rivelatori di radiazione elettromagnetica, gravitazionale e corpuscolare (raggi cosmici).

Testi di riferimento:

“Electronic Imaging in Astronomy”, McLean, Springer 2008

Obiettivi: Rendere lo studente familiare con il funzionamento della moderna strumentazione astronomica in modo che possa comprendere la letteratura scientifica relativa a questi argomenti e affronti con cognizione di causa l'analisi dei dati oggetto della sua tesi di laurea specialistica

Prerequisiti: I contenuti dei corsi di Fisica I, Fisica II, Fisica III, Struttura della Materia.

Modalità didattica: Lezione frontale,

Periodo semestre: II semestre

Altre informazioni: Sul sito web: <https://www.unimib.it/mario-zannoni> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Relazione in forma di seminario su argomenti inerenti il corso concordati con il docente

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18–30/30

Programma:

Richiami di ottica geometrica. Cenni di ottica gaussiana.

Polarizzazione di un'onda elettromagnetica: parametri di Stokes.

Telescopi: schemi ottici generali e montature. Risoluzione angolare. Assorbimento atmosferico. Seeing.

Radioastronomia: - telescopi ad antenna singola - interferometri - ricevitori - spettrometri - polarimetri

Astronomia Millimetrica e Submillimetrica: - telescopi - ricevitori eterodina SIS - ricevitori bolometrici – TES - criogenia

Astronomia Infrarossa: - telescopi - ottica attiva/adattiva - camere infrarosse (array)

Astronomia Ottica: - telescopi - camere a CCD - sistemi fotometrici - spettroscopi

Astronomia Ultravioletta: - telescopi ad incidenza normale e radente - CCD per UV - Micro-Channel Plates - Avalanche Photo Diodes

Astronomia X: - telescopi ad incidenza radente - telescopi a maschera codificata –

Rivelatori di radiazione ionizzante (camere a ionizzazione, camere proporzionali, Geiger, scintillatori, fotomoltiplicatori, rivelatori a semiconduttore.

Antenne gravitazionali.

ASTRONOMICAL INSTRUMENTATION

6 CFU

Lecturer: Mario Zannoni

Contents: Introduction to the physical principles of functioning of the telescopes and detectors for electromagnetic, particle and gravitational radiation

References:

“Electronic Imaging in Astronomy”, McLean, Springer 2008

Aims: The course is aimed at giving the students the basic knowledge of the principles of functioning of the modern astronomical instrumentation at a level sufficient for reading and comprehension the related scientific literature. This will give a solid technological basis for a deeper understanding of the astronomical data also for students preparing their master degree on observational topics.

Prerequisites: The topics of the first three courses of Physics and Structure of Matter.

Teaching form: Lessons (6 credits)

Semester: second semester

More information: Informations about the teacher’s c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website: <https://www.unimib.it/mario-zannoni>.

Examination type: Oral examination in form of a seminar on topics discussed during the course.

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

Geometrical optics. Gaussian optics (light introduction).

Polarization: Stokes parameters.

Telescopes: optical schemes and mountings. Angular resolution. Atmospheric extinction. Seeing.

Radioastronomy: Single Dish, Interferometers. Receivers, Spectrometers, Polarimeters.

Millimeter and Submillimeter Astronomy: Telescopes, SIS Etherodyne Receives, Bolometers, TES, Cryogenics.

Infrared Astronomy: Telescopes, Infrared Array Cameras, Active-Adaptive Optics.

Optical Astronomy: Telescopes, CCD cameras, Photometric Systems, Spectrographs.

Ultraviolet Astronomy: Normal and Grazing Incidence Telescopes, UV-CCD, MicroChannelPlates, Avalanche Photo Diodes.

X-ray Astronomy: Grazing Incidence Telescopes, Coded Mask Telescopes.

Ionizing radiation Detectors: Ionization Chambers, Proportional Chambers, Geiger Counters, Scintillators, Photomultipliers, Semiconductor Detectors.

Gravitational Waves Antennas.

TEORIA DELLA MATERIA CONDENSATA I

6 CFU

Docente: Marco Bernasconi

Contenuti: Lo studio della struttura elettronica dei solidi oltre l'approssimazione di elettroni indipendenti. Metodo di Hartree-Fock. Seconda quantizzazione. Il gas di elettroni omogeneo. Teoria del funzionale della densità (DFT) e sue applicazioni allo studio delle proprietà elettroniche dei solidi. Proprietà magnetiche di solidi isolanti e metallici.

Testi di riferimento:

- M. L. Cohen and S.G. Louie, *Fundamentals of Condensed Matter Physics*, Cambridge University Press (Cambridge, 2016).
- G. Grosso and G. Pastori Parravicini: *Solid State Physics*, Academic Press (San Diego, 2000).
- R.M. Martin, *Electronic Structure - Basic Theory and Practical Methods* Cambridge University Press, (Cambridge, 2004).

Obiettivi: Presentare un'introduzione allo studio delle proprietà elettroniche dei solidi oltre l'approssimazione di elettroni indipendenti.

Prerequisiti: Il corso di Meccanica Quantistica e di Struttura della Materia della laurea triennale in Fisica.

Modalità didattica: - Lezione frontale

Periodo semestre: Primo

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.unimib.it/marco-bernasconi> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Esame orale.

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 10-30/30.

Programma:

Dal sistema a più elettroni alla teoria di campo medio: l'equazione di Hartree. L'equazione di Hartree-Fock. Seconda quantizzazione per bosoni e fermioni, operatori di creazione e distruzione ed operatori di campo, operatori a una e due particelle. Proprietà e diagramma di fase del gas di elettroni omogeneo.

La teoria del funzionale della densità (Density Functional Theory, DFT): il teorema di Hohenberg e Kohn, l'equazione di Kohn e Sham. Applicazione della DFT allo studio delle proprietà elettroniche dei solidi, pseudopotenziali. Lo schermo del gas di elettroni nella teoria di Thomas-Fermi e di Lindhard: oscillazioni di Friedel, velocità del suono nei metalli, anomalie di Kohn nella dispersione dei fononi.

Proprietà magnetiche dei solidi. Diamagnetismo e paramagnetismo negli isolanti. Paramagnetismo e diamagnetismo del gas di elettroni. Ferromagnetismo negli isolanti: modello di Curie-Weiss. Modello di Stoner per il ferromagnetismo itinerante nei metalli. Hamiltoniana di Heisenberg e onde di spin.

THEORY OF CONDENSED MATTER I

6 CFU

Lecturer: Marco Bernasconi

Contents: The study of the electronic properties of solids beyond the independent electron approximation. The Hartree-Fock equation. Second quantization. The homogeneous electron gas. Density Functional Theory (DFT) and its application to the electronic structure of solids. Magnetic properties of insulators and metals.

References:

- M. L. Cohen and S.G. Louie, Fundamentals of Condensed Matter Physics, Cambridge University Press (Cambridge, 2016).
- G. Grosso and G. Pastori Parravicini: Solid State Physics, Academic Press (San Diego, 2000).
- R.M. Martin, Electronic Structure - Basic Theory and Practical Methods Cambridge University Press, (Cambridge, 2004).

Aims: To provide an introduction to the study of the electronic properties of solids beyond the independent electron approximation.

Prerequisites: The courses of Quantum Mechanics and of Structure of Matter of the first level degree in Physics

Teaching form: Frontal lectures

Semester: first semester

More information: Information about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website: <https://www.unimib.it/marco-bernasconi>.

Examination type: Oral examination

Mark range: 18-30/30

Syllabus:

From the many-electron system to a mean field theory: the Hartree equation. The Hartree-Fock equation. Second quantization for bosons and fermions, creation and annihilation operators, field operators, one-electron and two-electron operators. Properties and phase diagram of the homogeneous electron gas. Density Functional Theory (DFT): the Hohenberg-Kohn theorem and the Kohn-Sham equation. Applications of DFT to the electronic properties of solids, pseudopotentials. Screening in the electron gas in the theories of Thomas-Fermi and Lindhard: Friedel oscillations, sound velocities in metals, Kohn anomalies in phonon dispersion relations.

Magnetic properties of solids. Diamagnetism and paramagnetism in insulators. Ferromagnetism in insulators: the Curie-Weiss model. Stoner theory for itinerant ferromagnetism in metals. Heisenberg Hamiltonian and spin waves.

TEORIA DELLA MATERIA CONDENSATA II

6 CFU

Docente: Gianpaolo Brivio.

Contenuti: Funzioni di Green in teoria delle perturbazioni. I diagrammi di Feynman. La self-energia, il potenziale efficace. Funzioni di risposta. Funzioni di correlazione e funzioni di Green a due particelle. Polarizzazione e funzione dielettrica. Superfluidità. Fenomenologia. Temperatura critica e proprietà dello ^4He . Diagrammi di fase. Il modello a due fluidi. La condensazione di Bose-Einstein. Superconduttività. Proprietà elettriche, magnetiche, termodinamiche dei superconduttori. Superconduttori ad alta temperatura (HTCS). Il modello di London, la teoria di Ginzburg e Landau. Le coppie di Cooper.

Testi di riferimento:

J.W. Negele e H. Orland: "Quantum Many-Particle Systems", Addison-Wesley, (Reading, MA-USA, 1987).

A.L. Fetter e J.D. Walecka, "Quantum Many-Particle Systems", McGraw-Hill (New York, USA, 1971).

G. Grosso e G. Pastori Parravicini, "Solid State Physics", Academic Press (New York, 2003).

Obiettivi: Presentare la teoria perturbativa di campo in materia condensata, la superfluidità e la superconduttività.

Prerequisiti: Conoscenza degli argomenti del corso di Teoria della Materia Condensata I o di corso equivalente di Fisica Teorica.

Modalità didattica: Lezione frontale, 6 CFU, questo insegnamento sarà tenuto in inglese.

Periodo semestre: II semestre

Altre informazioni: Sul sito web: <https://www.mater.unimib.it/it> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: prova orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Teoria delle perturbazioni a molti corpi. Descrizioni di Schrödinger, Heisenberg e di interazione. La funzione di Green (causale, ritardata e anticipata) ad una particella in teoria a molti corpi. Significato fisico dei poli e dei residui. La rappresentazione di Lehmann. Il concetto di quasi-particella. Evoluzione temporale. La matrice S. Il prodotto cronologico e normale di operatori. Il teorema di Wick. I diagrammi di Feynman. La self-energia. L'equazione di Dyson.

Funzioni di risposta. Funzioni di correlazione e funzioni di Green a due particelle. Eccitazioni collettive. La teoria della risposta lineare e la formula di Kubo. Suscettività generalizzata. Polarizzazione e funzione dielettrica (RPA).

Superfluidità. Fenomenologia. Temperatura critica e proprietà dello ^4He . Diagrammi di fase. Il modello a due fluidi. La condensazione di Bose-Einstein. Gas di bosoni interagenti. La trasformazione di Bogoliubov e le quasi-particelle. Le eccitazioni del superfluido: significato fisico.

Superconduttività. Proprietà elettriche, magnetiche, termodinamiche dei superconduttori.: superconduttori di I e II tipo. Temperatura critica. Diagrammi di fase. Superconduttori ad alta temperatura (HTCS). Il modello di London, la teoria di Ginzburg e Landau. Le coppie di Cooper. La teoria BCS. Il gap superconduttori. L'Hamiltoniana di Fröhlich. Effetti Giaever e Josephson.

THEORY OF CONDENSED MATTER II

6 CFU

Lecturer: Gianpaolo Brivio.

Contents: Green functions in perturbation theory. Feynman diagrams. Self-energy, The effective Response functions. Correlation and two particle Green functions. Polarization and the dielectric function. Superfluidity. Experimental results. Critical temperature and ^4He properties. Phase diagrams. Two fluid models. Bose-Einstein condensation. Superconductivity. Electric, magnetic and thermodynamic properties of superconductors. HTc superconductors. London and Ginzburg-Landau theories. Cooper pairs and BCS theory.

References:

W. Negele e H. Orland: "Quantum Many-Particle Systems", Addison-Wesley, (Reading, MA-USA, 1987).

A.L. Fetter e J.D. Walecka, "Quantum Many-Particle Systems", McGraw-Hill (New York, USA, 1971).

G. Grosso e G. Pastori Parravicini, "Solid State Physics", Academic Press (New York, 2003).

Aims: The course provides the basic knowledge of non relativistic field perturbation theory, superfluidity and superconductivity.

Prerequisites: The programme of the course 'Theory of Condensed matter I' or of an equivalent course in Theoretical Physics.

Teaching form: Lecturers (6 CFU), This course will be taught in English

Semester: second semester

More information: Informations about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website: <https://www.mater.unimib.it/it>

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

Many-body perturbation theory: Green functions (causal, retarded and advanced) in perturbation theory. Schrödinger, Heisenberg and interaction representation. The Lehmann representation. Time-evolution of the Green function. S-operator. Quasi-particles. Poles and residues of the Green functions. Temporal and normal ordering of operators. Wick's theorem. Feynman diagrams, self-energy, effective potential.

Response functions. Correlation and two particle Green functions. Linear response theory and Kubo formula. Generalized susceptibility. Polarization and the dielectric function (RPA).

Superfluidity. Experimental results. Critical temperature and ^4He properties. Phase diagrams. Two fluid models. Bose-Einstein condensation. Gas of interacting bosons. Bogoliubov's transformation. Superfluid excitations and physical meaning.

Superconductivity. Electric, magnetic and thermodynamic properties of superconductors. Superconductors of I and II type. HTc superconductors. London and Ginzburg-Landau theories. Cooper pairs and BCS theory. Superconducting gap. Froehlich's Hamiltonian. Giaever's and Josephson's effects.

TEORIA E FENOMENOLOGIA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI 6 CFU

Docente: Oleari Carlo

Contenuti: Introduzione al Modello Standard delle interazioni elettrodeboli e forti: il modello $SU(2) \times U(1) \times SU(3)$. La rottura spontanea di simmetria, il bosone di Higgs e la fenomenologia delle interazioni forti ed elettrodeboli

Testi di riferimento:

Appunti e note fornite dal docente alla pagina web: <http://virgilio.mib.infn.it/~oleari>

Ulteriori letture:

An introduction to Quantum Field Theory, M. Peskin, D.V. Schroeder

The Quantum Theory of Fields, S. Weinberg

Foundations of Quantum Chromodynamics, T. Muta

Handbook of perturbative QCD, G. Sterman (www.phys.psu.edu/~cteq/handbook/v1.1/handbook.pdf)

QCD and Collider Physics, K. Ellis, J. Stirling, B. Webber

Applications of Perturbative QCD, R. D. Field

Lezioni sul Modello Standard e QCD tenute da diversi autori al CERN (Academic Training lectures), alla CTEQ school, TASI

Obiettivi: Fornire le conoscenze del Modello Standard, le basi per calcoli di sezioni d'urto e larghezze di decadimento, approfondimenti di fenomenologia delle particelle fondamentali

Prerequisiti: Conoscenze base della teoria quantistica dei campi

Modalità didattica: Lezione frontale (6 CFU)

Periodo semestre: Secondo semestre

Altre informazioni La pagina web di riferimento del corso è la pagina personale del docente:

<http://virgilio.mib.infn.it/~oleari>

Modalità dell'esame: Esame scritto e orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18–30/30

Programma:

Richiami della connessione tra sezioni d'urto e ampiezze di scattering. Spazio delle fasi per la produzione di n particelle. Matrice S e

teorema ottico. Vincoli di unitarietà. Teoria di interazione a quattro fermioni di Fermi. Legame tra larghezze di decadimento e parte immaginaria dei diagrammi di self energia.

Teorema della Noether. Gruppi abeliani e non abeliani. Gruppi $SU(n)$. Gauging di una simmetria. L'elettrodinamica quantistica (QED) come teoria di gauge abeliana. Costruzione del Modello Standard come teoria di gauge $SU(2) \times U(1) \times SU(3)$. La lagrangiana del Modello Standard, assegnazione dei campi alle diverse rappresentazioni. Rottura spontanea della simmetria: la lagrangiana di Higgs e di Yukawa. La matrice di Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM). Il termine di fase e la violazione di CP. Il triangolo di unitarietà, masse leptoniche e matrice di Pontecorvo-Maki-Nakagawa-Sakata (PMNS).

Esempi di calcolo di quantità fisiche: larghezza di decadimento del bosone Z , del bosone di Higgs, la sezione d'urto per $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$ e $gg \rightarrow H$, teoria di interazioni a 4 fermioni vs. Modello Standard. Scattering di bosoni polarizzati longitudinalmente e violazione dell'unitarietà.

Adroni nello stato iniziale: deep-inelastic scattering (DIS), funzioni di struttura, lo scaling di Bjorken, il "naive parton model", le funzioni di distribuzione partoniche, necessità del colore.

Richiamo delle regole di Feynman per la cromodinamica quantistica (QCD): invarianza di gauge per lo scattering quark-antiquark in gluoni. Algebra di colore.

Richiami di rinormalizzazione in teorie di gauge, abeliane e non abeliane. Infiniti ultravioletti. Beta function in QED e QCD: running della costante di accoppiamento e libertà asintotica.

Singolarità soffici e collineari di stato finale, sezione d'urto totale per $e^+ e^- \rightarrow$ quark antiquark al NLO. Jet di Serman-Weinberg. Osservabili infrared safe.

Singolarità collineari di stato iniziale. Cancellazione delle singolarità soffici con i contributi virtuali.

Funzioni di splitting di Altarelli-Parisi, equazioni DGLAP, risommazione dei logaritmi dominanti, componenti singlet e non singlet. Trasformata di Mellin. Regole di somma.

THEORY AND PHENOMENOLOGY OF THE FUNDAMENTAL INTERACTIONS 6 CFU

Lecturer: Oleari Carlo

Contents: Introduction to the Standard Model of the electroweak and strong interactions: the $SU(2) \times U(1) \times SU(3)$ model. The spontaneous symmetry breaking, the Higgs boson, and the phenomenology of the strong and electroweak interactions.

References:

Notes given by the teacher at the webpage: <http://virgilio.mib.infn.it/~oleari>

Further readings:

An introduction to Quantum Field Theory, M. Peskin, D.V. Schroeder

The Quantum Theory of Fields, S. Weinberg

Foundations of Quantum Chromodynamics, T. Muta

Handbook of perturbative QCD, G. Sterman (www.phys.psu.edu/~cteq/handbook/v1.1/handbook.pdf)

QCD and Collider Physics, K. Ellis, J. Stirling, B. Webber

Applications of Perturbative QCD, R. D. Field

Standard Model and QCD lectures held at CERN (Academic Training lectures), at the CTEQ school, at TASI

Aims: To provide the fundamental basis of the Standard Model, the tools for cross-section and decay-rate calculations.

To deepen the knowledge of the phenomenology of the fundamental particles

Prerequisites: Basics knowledge of Quantum Field Theory

Teaching form: Lessons (6 Credits)

Semester: Second semester

More information The course's webpage is the teacher's webpage: <http://virgilio.mib.infn.it/~oleari>

Examination type: Written and oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

Cross sections and scattering amplitudes. Phase space for the production of n particles. S matrix and optical theorem. Unitarity bounds. Fermi's four-fermion interaction theory. Imaginary part of self-energy diagrams and decay rates. Noether's theorem. Abelian and non-abelian groups. $SU(n)$. Gauging a symmetry. Quantum electrodynamics (QED) as an abelian gauge theory. The Standard Model (SM) as a $SU(2) \times U(1) \times SU(3)$ gauge theory: the SM lagrangian, association between fields and representations. Spontaneous symmetry breaking: the Higgs and Yukawa lagrangians. The Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM) matrix. The CKM phase and CP violation. The unitarity triangle, masses to leptons and the Pontecorvo-Maki-Nakagawa-Sakata (PMNS) matrix. Examples of physical observables: the Z boson decay width, the Higgs boson decay width, evaluation of the cross sections for $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$ and $gg \rightarrow H$ production, Fermi's four-fermion interaction vs SM interactions. Scattering of longitudinally polarized vector bosons and unitarity violation.

Hadrons in the initial state: deep-inelastic scattering (DIS), structure functions, Bjorken scaling, the "naive parton model", the parton-distribution functions. The need of the color as extra degree of freedom.

Review of the Feynman rules for quantum chromodynamics (QCD): gauge invariance for quark-antiquark scattering into gluons. Color algebra.

Review of the renormalization procedure in abelian and non-abelian gauge theories. Ultraviolet divergences. QED and QCD beta function: running of the coupling constants and asymptotic freedom.

Soft and collinear divergences in the final-state, total cross section for $e^+ e^- \rightarrow$ quark antiquark at NLO. Sterman-Weinberg jets. Infrared-safe observables.

Initial-state collinear singularities. Cancellation of soft and virtual singularities. The Altarelli-Parisi splitting functions, the DGLAP equations, leading-logarithm resummation, singlet and non-singlet components. Mellin transform and sum rules.

TEORIA QUANTISTICA DEI CAMPI I

6 CFU

Docente: Sara Pasquetti

Contenuti: Teorie relativistiche di campi quantistici

Testi di riferimento:

P. Ramond, Field Theory, A Modern Primer, 2nd Edition

M.E. Peskin, D.V. Schroeder, An introduction to Quantum Field Theory

S. Weinberg, The Quantum Theory of Fields, vol. 1 e 2

Obiettivi: Fornire le basi concettuali e gli strumenti tecnici essenziali per una prima comprensione della fisica quantistica delle interazioni fondamentali

Modalità didattica: Lezione frontale, esercitazione, Questo insegnamento sarà tenuto in inglese

Prerequisiti: Fisica Teorica I e II

Periodo semestre: Secondo semestre

Altre informazioni: Sul sito web <https://www.fisica.unimib.it/it/ricerca/fisica-teorica/milano-bicocca-theoretical-physics-group> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente ed indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18–30/30

Programma:

Formalismo funzionale in meccanica quantistica (richiami).

Formalismo funzionale per campi scalari: Funzionali Generatori, Azione Efficace,

Espansione in Loops, Calcolo di diagrammi di Feynman, Regolarizzazione dimensionale.

Rinormalizzazione della teoria ϕ^4 . Gruppo di Rinormalizzazione. Equazione di Callan-Symanzik.

Rinormalizzazione alla Wilson.

QUANTUM FIELD THEORY I

6 CFU

Lecturer: Sara Pasquetti

Contents: Relativistic quantum field theories

References: P. Ramond, Field Theory, A Modern Primer, 2nd Edition

M.E. Peskin, D.V. Schroeder, An introduction to Quantum Field Theory

S. Weinberg, The Quantum Theory of Fields, vol. 1 e 2.

Aims: To provide conceptual and technical tools for the study of the theory of the fundamental interactions

Prerequisites: Theoretical Physics I and II

Teaching form: Lessons, Classes, This course will be taught in English

Semester: second semester

More information: Information about the teacher's c.v. and e-mail address can be found on the website: <https://www.fisica.unimib.it/it/ricerca/fisica-teorica/milano-bicocca-theoretical-physics-group>

Examination type: Oral examination

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

Functional formalism in Quantum Mechanics (review)

Functional formalism for scalar fields: Generating Functionals and Effective Action,

Loop Expansion, Feynman diagrams, Dimensional regularization.

Φ^4 theory renormalization. Renormalization group. Callan-Symanzik equation.

Wilson approach to renormalization

TEORIA QUANTISTICA DEI CAMPI II

6 CFU

Docente: Leonardo Giusti.

Contenuti: Teorie dei campi quantistici relativistici

Testi di riferimento:

S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*, vol. 1 e 2, Cambridge University Press

M. LeBellac, *Quantum and Statistical Field Theory*, Oxford Science Publications

F. Mandl and G. Shaw, *Quantum field theory*, Wiley

M.E. Peskin and D.V. Schroeder, *An Introduction To Quantum Field Theory*, Perseus

J. Zinn-Justin, *Quantum field theory and critical phenomena*, Oxford Science Publications

Obiettivi: Fornire gli strumenti concettuali e tecnici per lo studio della fisica quantistica delle interazioni fondamentali.

Prerequisiti: Meccanica Quantistica, Fisica Teorica I e II, Teoria dei campi I

Modalità didattica: Lezioni frontali ed esercitazioni.

Periodo semestre: Secondo semestre

Altre informazioni:

Sulla pagina web <https://www.unimib.it/leonardo-giusti> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Orale

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Quantizzazione tramite integrazione funzionale di campi spinoriali e vettoriali.

Invarianza di Gauge, prescrizione di Faddeev-Popov, elettrodinamica quantistica (QED).

Teorie di Yang-Mills, invarianza BRST, Cromo dinamica Quantistica (QCD).

Simmetrie nel formalismo funzionale, identità di Ward: conservazione della carica elettrica, definizione del tensore energia-impulso, simmetria chirale e correnti associate.

Fondamenti della teoria della rinormalizzazione, rinormalizzazione di operatori composti. Espansione di prodotti di operatori locali (OPE).

Gruppo di rinormalizzazione: equazioni di Callan-Symanzik e loro soluzione, evoluzione delle costanti di accoppiamento, dimensioni anomale. Libertà asintotica in teorie di gauge non-abeliane.

Rottura spontanea di simmetria, bosoni di Goldstone. Algebra delle correnti in QCD, pioni come bosoni di Goldstone. Rottura di simmetria dovuta alla quantizzazione: anomalie, identità di Ward assiali in QCD, meccanismo di Witten-Veneziano.

Modello standard delle interazioni fondamentali: gruppo di gauge, meccanismo di Higgs, masse nel settore dei quarks e dei leptoni, meccanismo see-saw per i neutrini. Cancellazione delle anomalie chirali, matching di 'tHooft.

QUANTUM FIELD THEORY II

6 CFU

Lecturer: Leonardo Giusti.

Contents: Relativistic quantum field theories.

References:

S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*, vol. 1 e 2, Cambridge University Press

M. LeBellac, *Quantum and Statistical Field Theory*, Oxford Science Publications

F. Mandl and G. Shaw, *Quantum field theory*, Wiley

M.E. Peskin and D.V.Schroeder, *An Introduction To Quantum Field Theory*, Perseus

J. Zinn-Justin, *Quantum field theory and critical phenomena*, Oxford Science Publications

Aims: To give the conceptual and technical tools to study the theory of the fundamental interactions

Prerequisites: Quantum mechanics, Theoretical Physics I and II, Quantum field theory I

Teaching form: Lessons and recitations.

Semester: Second semester

More information:

Information about the teacher's c.v. and e-mail address can be found on the website:

<https://www.unimib.it/leonardo-giusti>

Examination type: Oral exam.

Mark range: 18-30/30

Syllabus:

Path integral quantization of spinor and vector fields. Gauge invariance, Faddeev-Popov prescription, quantum Electrodynamics (QED). Yang-Mills theories, BRST invariance,

Quantum Chromo dynamics (QCD).

Symmetries in the path integral formalism. Ward identities: charge conservation, energy-momentum tensor, chiral symmetry and associated currents.

Basics of renormalization theory, renormalization of composite operators, operator product expansion (OPE).

Renormalization group: Callan-Symanzik equations and their solution, running of the masses and coupling constants, anomalous dimensions. Asymptotic freedom in non-abelian gauge theories.

Spontaneous symmetry breaking, Goldstone bosons. Current algebra in QCD, pions as Goldstone bosons.

Anomalous breaking of symmetries: anomalies, axial Ward identities in QCD, Witten-Veneziano mechanism, computation of the topological susceptibility on the lattice.

Standard model of the fundamental interactions: gauge group, Higgs mechanism, quark and

lepton masses, see-saw mechanism for neutrino masses. Chiral anomaly cancellation, 't Hooft matching.

TERMODINAMICA STATISTICA COMPUTAZIONALE DEI SOLIDI

6 CFU

Docente: Francesco Montalenti

Contenuti: Statica e Dinamica Molecolare; Metodi di Monte Carlo; Applicazioni a problemi di Fisica dello Stato Solido e delle Superfici

Testi di riferimento:

D. Frenkel and B. Smit, Understanding Molecular Simulations, Academic Press.

Obiettivi: Risolvere problemi attuali in Fisica dello Stato Solido attraverso l'implementazione al computer di opportuni metodi di termodinamica statistica

Prerequisiti: Conoscenza di base della meccanica statistica classica e della meccanica quantistica.

Modalità didattica: Lezioni frontali (4 CFU), Laboratorio informatico (2 CFU), Questo insegnamento sarà tenuto in inglese

Periodo semestre: I semestre, Novembre – Febbraio.

Altre informazioni: Sul sito web: <https://www.unimib.it/francesco-cimbro-mattia-montalenti> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

Modalità dell'esame: Orale, con discussione e presentazione delle esercitazioni di laboratorio

Valutazione dell'esame: Voto in trentesimi 18-30/30

Programma:

Ripasso di meccanica statistica: ensemble canonico e microcanonico.

Approssimazione adiabatica e approssimazione classica del moto ionico

Potenziali empirici classici

Statica e Dinamica Molecolare: teoria e implementazione in MATLAB

Metodi di Monte Carlo alla Metropolis: teoria e implementazione in MATLAB

Processi cinetici: La teoria dello Stato di Transizione

All'interno del Corso verranno svolte una o più esercitazioni da discutere all'esame.

COMPUTATIONAL STATISTICAL THERMODYNAMICS IN SOLIDS

6 CFU

Lecturer: Francesco Montalenti

Contents: Molecular Statics and Dynamics; Monte Carlo methods; Applications to problems in Solid State Physics and Surface Physics.

References:

D. Frenkel and B. Smit, Understanding Molecular Simulations, Academic Press.

Aims: To solve relevant problems in Solid State Physics exploiting computer-implementation of suitable methods of statistical thermodynamics.

Recommended knowledge: Basic knowledge of classical statistical mechanics.

Teaching form: -Lessons, 4 cfu Computational lab, 2 cfu, This course will be taught in English

Semester: first semester, November–February

More information: Visit <https://www.unimib.it/francesco-cimbro-mattia-montalenti> and/or contact the Lecturer.

Examination type: Oral, with discussion of laboratory exercises

Mark range: 18–30/30

Syllabus:

Review of basic classical statistical mechanics: canonical and microcanonical ensembles.

Adiabatic approximation, and classical approximation for ion motion.

Classical empirical potentials

Molecular Statics and Dynamics: theory and MATLAB implementation.

Metropolis Monte Carlo: theory and MATLAB implementation

Kinetic Processes: Transition State Theory

One or more applied problems, to be discussed during the oral examination, will be tackled during the course.