



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**SCUOLA DI SCIENZE**

**Bollettino Notiziario**

Anno Accademico 2016/2017

**Laurea magistrale in Fisica (Ord. 2014)**

---

# Curriculum: Corsi comuni

---

## ADVANCED QUANTUM PHYSICS

---

(Titolare: Prof. LUCA SALASNICH)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 40A+8E; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

I corsi della laurea triennale in Fisica.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Seconda quantizzazione del campo elettromagnetico. Transizioni elettromagnetiche. Sistemi quantistici a molti corpi interagenti. Seconda quantizzazione del campo di materia non relativistico.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

36 ore di lezioni teoriche e 12 ore di esercizi.

**Contenuti :**

1. Seconda quantizzazione del campo elettromagnetico. Proprietà del campo elettromagnetico classico nel vuoto. Gauge di Coulomb. Espansione in onde piane del potenziale vettore. Oscillatori quantistici e quantizzazione del campo elettromagnetico. Stati di Fock e stati coerenti del campo elettromagnetico. Energia di punto zero ed effetto Casimir. Campo elettromagnetico a temperatura finita.

2. Transizioni elettromagnetiche. L'atomo in presenza del campo elettromagnetico. La regola d'oro di Fermi. Approssimazione di dipolo. Assorbimento ed emissione spontanea e stimolata della radiazione: i coefficienti di Einstein. Regole di selezione. Tempi di vita degli stati atomici e larghezza di riga. Inversione di popolazione e luce laser.

3. Sistemi quantistici a molti corpi. Particelle identiche. Bosoni e condensazione di Bose-Einstein. Fermioni e principio di esclusione di Pauli. Approssimazioni di Hartree per i bosoni e l'equazione di Gross-Pitaevskii. Approssimazione di Hartree-Fock per i fermioni. Teoria del funzionale densità: teoremi di Hoenberg-Kohn, funzionale densità di Thomas-Fermi-Dirac-Von Weizsacker e funzionale densità di Kohn-Sham.

4. Seconda quantizzazione del campo di Schrodinger. Operatori di campo bosonici e fermionici. Stati di Fock e stati coerenti del campo bosonico di Schrodinger. Campo di Schrodinger a temperatura finita per bosoni e fermioni. Campo di materia per bosoni e fermioni interagenti. Bosoni in doppia buca di potenziale e modello di Bose-Hubbard a due siti.

**Modalità di esame :**

Esame orale di circa 30 minuti.

**Criteri di valutazione :**

Conoscenze acquisite e capacità espositiva.

**Testi di riferimento :**

L. Salasnich, *Quantum Physics of Light and Matter*. Berlin: Springer, 2014

B.H. Bransden and C.J. Joachain, *Physics of Atoms and Molecules*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2003

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Libro scritto dal docente.

---

## ASTROFISICA RELATIVISTICA

---

(Titolare: Prof. ROBERTO TUROLLA)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Contenuti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Modalità di esame :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Criteri di valutazione :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

CONTENUTO NON PRESENTE

---

## COSMOLOGIA

---

(Titolare: Prof. SABINO MATARRESE)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Le conoscenze acquisite nel corso di Istituzioni di Astrofisica e Cosmologia.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Scopo del corso e' quello di familiarizzare lo studente con i principali argomenti di ricerca della cosmologia moderna e a fornire i principali strumenti di analisi e di calcolo utilizzati in ambito cosmologico.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali. Dimostrazioni al computer.

**Contenuti :**

Introduzione generale

• Equazioni di Friedmann dalle equazioni di Einstein per la metrica di Robertson-Walker

La Radiazione Cosmica di Fondo (CMB)

• Equazione di Boltzmann e ricombinazione dell'idrogeno: oltre l'equazione di Saha

• Equazione di Boltzmann nell'Universo perturbato: la funzione di distribuzione dei fotoni

• Trattazione dei termini di collisione

• Equazione di Boltzmann per i fotoni in approssimazione lineare

• Equazione di Boltzmann per la materia oscura fredda (CDM) in approssimazione lineare

• Equazione di Boltzmann per i barioni in approssimazione lineare

• Equazione di evoluzione per la funzione di brightness dei fotoni  $\tilde{I}$

• Equazioni di Einstein perturbate al primo ordine (perturbazioni scalari)

• Condizioni iniziali

• Evoluzione su scale super-horizon

• Oscillazioni acustiche e limite di tight coupling

• Free-streaming " ruolo della visibility function

• Cenni sull'evoluzione dei potenziali gravitazionali e Silk damping

• Espressione per i multipoli dell'anisotropia in temperatura  $\tilde{l}$

• Spettro angolare dell'anisotropia in temperatura ed effetto Sachs-Wolfe su grande scala

• Piccole scale angolari: picchi acustici (cenni sul ruolo dei parametri cosmologici)

L'instabilità gravitazionale

• Instabilità gravitazionale nell'Universo in espansione

• Equazioni di Boltzmann per un sistema di particelle non collisionali e il limite di fluido

• Approssimazione di Zel'dovich

• Approssimazione dell'adesione.

• Soluzione dell'equazione di Burgers 3D.

Metodi statistici in cosmologia

• Ipotesi ergodica e di "fair sample"

• Funzioni di correlazione a N-punti

• Spettro di potenza e teorema di Wiener-Khinchine

• Metodi di filtraggio

• Up-crossing regions e picchi del campo di densità

• Campi random Gaussiani e non-Gaussiani

\* Approccio a path-integral alle perturbazioni cosmologiche

**Modalità di esame :**

L'esame puo' essere svolto con due differenti modalità.

1. Esame orale tradizionale sugli argomenti fondamentali trattati nel corso.

2. (solo per gli studenti che abbiano frequentato il corso) Tesina scritta su un argomento trattato nel corso e concordato con il docente.

La tesina dovrà contenere una trattazione approfondita dell'argomento scelto, basata sullo studio di articoli di review e/o capitoli di libri.

Il contenuto della tesina, che verrà poi esposto durante un colloquio con il docente, dovrà altresì provare l'acquisizione da parte dello studente della conoscenza dei principali argomenti trattati a lezione.

**Criteri di valutazione :**

Capacità di elaborazione autonoma del materiale trattato a lezione.

**Testi di riferimento :**

Dodelson, S., *Modern Cosmology*. Amsterdam: Academic Press, 2003

Coles P. and Lucchin F., *Cosmology: The Origin and Evolution of Cosmic Structure*. Chichester: Wiley and Sons, 2001

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Appunti del docente sulla quasi totalità degli argomenti trattati.

## COSMOLOGIA DELL'UNIVERSO PRIMORDIALE

(Titolare: Prof. NICOLA BARTOLO)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Istituzioni di Astrofisica e Cosmologia

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Scopo del corso e` quello di offrire allo studente gli strumenti necessari per comprendere e analizzare i principali aspetti che riguardano la fisica dell'universo primordiale, sia da un punto di vista modellistico che osservativo.

**Attivita' di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali con proposte di esercizi ed esempi

**Contenuti :**

Introduzione generale. Il problema delle condizioni iniziali: perturbazioni di densita` primordiali all'origine della formazione delle strutture dell'universo su grande scala

- Brevi richiami ai principali problemi del modello cosmologico standard
- Cosmologia inflazionaria nell'universo primordiale come soluzione ai problemi del modello standard

**Modellistica:**

- Modelli inflazionari: energia del vuoto e l'inflatone; dinamica di un campo scalare in un universo di Friedmann-Robertson-Walker; possibili realizzazioni dello scenario inflazionario
- Modelli inflazionari nell'ambito di fisica delle particelle delle alte energie
- Predizioni osservative dei modelli inflazionari: dalle perturbazioni quantistiche in un universo in espansione alle prime perturbazioni di densita` primordiali; onde gravitazionali primordiali
- Formalismo delta-N (e formalismo in-in) per lo studio delle perturbazioni cosmologiche
- Fase di reheating e meccanismi di bariogenesi

**Perturbazioni cosmologiche in relativita` generale**

- perturbazioni scalari, vettoriali e tensoriali
- trasformazioni di gauge
- equazioni di Einstein perturbate linearmente attorno alla metrica di Robertson-Walker

**Test osservativi dell'universo primordiale**

**Modalita' di esame :**

Esame orale

**Criteri di valutazione :**

Apprendimento dei contenuti base del corso, capacita` dello studente di elaborare in modo autonomo i concetti acquisiti, capacita` di ragionamento e di applicazione degli strumenti forniti dal corso.

**Testi di riferimento :**

Andrew R Liddle and David H Lyth, *The Primordial Density Perturbation*. : Cambridge University Press, 2009

Andrew R Liddle and David H Lyth, *Cosmological Inflation and Large-Scale Structure*. : Cambridge University Press, 2000

Kolb, E.W. and Turner, M.S., *The Early Universe*. Redwood City: Addison-Wesley, 1990

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Le parti rilevanti del corso saranno individuate nei testi di riferimento e per alcune parti del corso saranno a disposizione degli appunti del docente.

## FISICA ASTROPARTICELLARE

(Titolare: Prof. PARIDE PARADISI)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Il corso e` autoconsistente in quanto le necessarie basi di meccanica quantistica relativistica, teoria dei campi e relativita` generale verranno fornite durante il corso.

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Una piena comprensione delle primissime fasi del nostro Universo durante i primi secondi dopo il Big Bang, richiede non soltanto conoscenze di cosmologia ed astrofisica ma anche di fisica delle particelle elementari. Scopo del corso e' fornire una visione di insieme di queste discipline attraverso un' introduzione dei Modelli Standard cosmologico e delle particelle elementari.

**Attivita' di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali.

**Contenuti :**

- 1) INTRODUZIONE: Universo osservabile e sua espansione, materia oscura, resti del Big Bang.
- 2) MECCANICA QUANTISTICA RELATIVISTICA: equazioni di Dirac e Klein-Gordon; limite non-relativistico; antiparticelle e loro proprieta`; simmetrie discrete: P, T, C ed teorema CPT.
- 3) TEORIA QUANTISTICA DEI CAMPI: campi di Klein-Gordon, Dirac ed elettromagnetico; connessione spin-statistica; teorema di Noether; tensore energia-impulso; interazione radiazione-materia: derivata covariante e QED; teoria dello scattering: matrice S, funzioni di Green, propagatori, regole di Feynman, sezioni d'urto e tassi di decadimento.
- 4) ROTTURA SPONTANEA DI SIMMETRIA (SSB): SSB di simmetrie discrete e globali continue: il teorema di Goldstone; SSB di simmetrie locali continue: meccanismo di Higgs; SSB a temperatura finita.
- 5) IL MODELLO STANDARD (SM) DELLE PARTICELLE: teoria di Fermi; teoria (V-A) x (V-A); teoria di Yang-Mills; teoria elettrodebole

- standard; SSB della simmetria elettrodebole; spettro di massa ed interazioni tra particelle; matrice CKM; meccanismo GIM; violazione di CP; gruppo di sapore dello SM: conservazione dei numeri barionico e leptonico (di famiglia); scoperta del bosone di Higgs ad LHC.
- 6) FISICA DEL NEUTRINO: masse di Dirac e Majorana; meccanismo see-saw; neutrini massivi nello SM; matrice PMNS; meccanismo GIM e tasso di decadimento di  $\mu \rightarrow e \gamma$ ; doppio decadimento beta senza neutrini; oscillazione dei neutrini nel vuoto e nella materia: effetto MSW; neutrino solari ed atmosferici; violazione di CP; esperimenti di oscillazioni dei neutrini; neutrini da Supernovae.
- 7) OLTRE IL MODELLO STANDARD: teorie di grande unificazione (GUTs); modello SU(5): SSB e gerarchia di Gauge, unificazione delle costanti di accoppiamento, decadimento del protone, masse ed angoli di mescolamento fermionici; SO(10) ed il meccanismo see-saw.
- 8) RELATIVITÀ GENERALE: principio di equivalenza; spazio-tempo curvo; tensore energia-impulso; equazioni di Einstein, soluzione di Schwarzschild.
- 9) MODELLI COSMOLOGICI: modello di de Sitter; modello standard cosmologico; metrica FLRW; equazioni di Friedmann; costante cosmologica.
- 10) TERMODINAMICA DELL'UNIVERSO PRIMORDIALE: equilibrio termodinamico; entropia; temperature di disaccoppiamento.
- 11) MATERIA OSCURA (MO): evidenze osservative; congelamento e MO; equazione di Boltzmann; MO fredda, bollente e calda; particelle massive debolmente interagenti (WIMPs); candidati di MO in fisica delle particelle; limiti cosmologici sulle masse dei neutrini; ricerche dirette ed indirette di MO.
- 12) INFLAZIONE: problemi dell'orizzonte, della piattezza e dei monopoli del modello BIG BANG standard; meccanismo dell'inflazione; fluttuazioni quantistiche dell'inflazione; modelli di inflazione; energia oscura.
- 13) BARIOGENESI: condizioni di Sakharov; interazioni che violano i numeri barionico (B) e leptonico (L); violazione di B e L nello SM via anomalie; conservazione di B-L nello SM; meccanismo elettrodebole; violazione di B in GUTs; generazione di asimmetrie in decadimenti di particelle; asimmetria barionica e masse dei neutrini: leptogenesi.
- 14) Fondi dovuti ai raggi cosmici, radioattività naturale, soppressione dei fondi in laboratorio sotterraneo (Gran Sasso).
- 15) Combustione dell'idrogeno nel sole, catena protone-protone e ciclo CNO. Flusso e spettro dei neutrini solari.
- 16) Misure di astrofisica nucleare in laboratorio sotterraneo, esperimento Luna al Gran Sasso, studio della combustione di  $^3\text{He}$  nella catena protone-protone.
- 17) Misura di  $^{14}\text{N}(\text{p},\gamma)$  underground, risultati e conseguenze. Misure future di Astrofisica nucleare.
- Esperimenti sui neutrini solari: radiochimici e diretti, risultati e conseguenze.

#### Modalità di esame :

Esame orale.

#### Criteri di valutazione :

La valutazione della prova orale si baserà sul grado di comprensione degli argomenti affrontati a lezione e sulla capacità di esporli in maniera logica e coerente.

#### Testi di riferimento :

- Bergstrom, Lars; Goobar, Ariel, *Cosmology and particle astrophysics*. Berlin: Springer, 2003
- Perkins, Donald H., *Particle astrophysics*. Oxford: Oxford University Press, 2009
- Gorbunov, Dmitry S.; Rubakov, Valery A., *Introduction to the Theory of the Early Universe: Hot Big Bang Theory*. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2011
- Kolb, Edward W.; Turner, Michael S., *The early universe*. Redwood City: California, Addison-Wesley, 1994
- Bilenky, Samoil, *Introduction to the physics of massive and mixed neutrinos*. Berlin: Springer, 2010
- Giunti, Carlo; Kim, Chung Wood, *Fundamentals of neutrino physics and astrophysics*. Oxford: Oxford University press, 2007
- Cheng, Ta-Pei; Li, Ling-Fong, *Gauge theory of elementary particle physics*. Oxford: Clarendon Press, 1984
- Schwartz, Matthew Dean, *Quantum field theory and the standard model* Matthew D. Schwartz. Cambridge: Cambridge univ. press, 2014
- Peskin, Michael E.; Schroeder, Daniel V., *An introduction to quantum field theory*. Reading: Mass., Addison-Wesley, 1995
- Bjorken, James D.; Drell, Sidney D., *Relativistic quantum mechanics*. New York: McGraw-Hill, 1964

#### Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Verranno fornite agli studenti dettagliate note su tutti gli argomenti del corso. In una versione più dettagliata del programma, che verrà consegnato agli studenti ad inizio corso, saranno indicati i paragrafi o capitoli dei testi di riferimento dove la trattazione dei vari argomenti del corso ha preso maggiormente spunto.

## FISICA BIOLOGICA

(Titolare: Prof. FLAVIO SENO)

<b>Periodo:</b>	I anno, 2 semestre
<b>Indirizzo formativo:</b>	Corsi comuni
<b>Tipologie didattiche:</b>	48A; 6,00 CFU

#### Prerequisiti :

Non previsti

#### Conoscenze e abilità da acquisire :

Il corso si propone di illustrare agli studenti alcune delle più stimolanti sfide culturali e scientifiche poste dalla biologia moderna e di mostrare loro come i metodi fisici possano permettere di dare risposte e di sviluppare nuovi modelli e nuove teorie

#### Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Lezioni frontali ed esercizi in aula

#### Contenuti :

Cenni di teoria dei polimeri.

Microstruttura dei polimeri. Omo-polimeri ed etero-polimeri. Natura frattale delle conformazioni polimeriche. Meccanismi di flessibilità nei polimeri. Conformazioni di catene ideali. Rapporto caratteristico di Flory. Lunghezza di Khun. Modello freely rotating chain. Lunghezza di persistenza. Modello worm like chain. Raggio di girazione. Distribuzioni di probabilità. Energia libera di una catena ideale. Stretching di una catena ideale. Tecniche di scattering per la misura delle dimensioni polimeriche. Fattore di forma. Misure a basso angolo. Funzione di Debye. Effetto del volume escluso. Teoria di Flory.

Forze molecolari nelle strutture biologiche.

Origine elettrica delle energie di interazione. Interazioni tra cariche e dipoli permanenti. Dipoli indotti. Forze di dispersione. Legami idrogeno. Repulsione sterica. Potenziali di Lennard-Jones. Force fields . Transizioni globali nelle biomolecole. Transizioni indotte dalla temperatura. Cooperatività<sup>TM</sup>. Transizioni indotte dal voltaggio. Strutture ad elica. La transizione helix-coil. Il modello di Zimm e Bragg.

Acidi nucleici e proteine.

Il dogma centrale della biologia. Struttura primaria del DNA. La struttura a doppia elica. Proprietà<sup>TM</sup> del DNA circolare. Elettroforesi. Polimorfismo e flessibilità<sup>TM</sup> del DNA. La transizione di denaturazione. Struttura del RNA. Pseudonodi. Amminoacidi e struttura primaria delle proteine. Struttura secondaria e struttura terziaria. Diagramma di Ramachandran. Interazioni intramolecolari. Effetto idrofobico. Protein folding. Protein design. Aggregazione amiloide. Proteine di membrana.

Diffusione e moto Browniano

Variabili casuali. Processi stocastici. Funzioni di autocorrelazione. Moto browniano e coefficienti di diffusione. Leggi di Fick. Equazione di Langevin . Relazione di Einstein. Moto browniano con forze esterne. Equazione generale per fenomeni di trasporto. Elettroforesi. Sedimentazione. Biopolimeri in potenziali elettrochimici.

Cinetica di cambi conformazionali.

Elementi di cinetica chimica. Reazioni di primo e secondo ordine. Reazioni accoppiate. Reazioni bimolecolari controllate dalla diffusione. Rilassamento chimico. Energie di attivazione. Cordinata di reazione e bilancio dettagliato. Relazioni di energia libera lineare. Costanti di reazione dipendenti dal voltaggio. La teoria dello stato attivato. Teoria di Eyring. Teoria di Kramer. Coordinata di reazione per una transizione globale. Phi values.

Metodi sperimentali

Spettroscopia Raman. Depolarizzazione di fluorescenza. Scambio protonico. Cinetica di reazioni veloci: tecniche dello stopped flow e del temperature jump.

Dalla permeabilità<sup>TM</sup> cellulare alle neuroscienze

Potenziali di Nerst. Potenziali di Donnan. Potenziali di membrana. Neuroni. Permeabilità<sup>TM</sup> selettiva dei canali. Flusso di Ussing. L'equazione di voltaggio di Goldman-Hodgkin-Katz(GHK), L'equazione di corrente di GHK. Il potenziale di azione. La tecnica del voltage clamp. Le equazioni di Hodgkin-Huxley. Curve tensione-corrente e potenziali di soglia. Teoria dei cavi. Propagazione dei segnali.

**Modalità di esame :**

La verifica finale consiste in una prova orale nella quale puo' essere richiesta anche la soluzione di qualche specifico problema.

**Criteri di valutazione :**

La prova d'esame mira ad accertare l'acquisizione delle conoscenze di base fornite dal corso, la capacità di ragionamento e di comprensione dello studente

**Testi di riferimento :**

M. Daune, Molecular Biophysics. : Oxford University Press, 1999

Meyer B. Jackson, Molecular and Cellular Biophysics. : Cambridge University Press, 2006

## FISICA DEI FLUIDI E DEI PLASMI

(Titolare: Dott. TOMMASO BOLZONELLA)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali.

**Contenuti :**

Il corso presenta, ad un livello avanzato, alcuni tra i principali elementi della fisica dei fluidi neutri e dei plasmi. Il corso ha carattere generale ed interdisciplinare, e vuole fornire gli strumenti per entrare in contatto con problematiche comuni a molteplici sistemi naturali e di laboratorio quali per esempio la turbolenza e i fenomeni di riconnessione magnetica. Durante il corso si farà riferimento ad esempi ed applicazioni sia in ambito astrofisico che fusionistico.

Introduzione generale: fluidi e plasmi in natura ed in laboratorio. Caratteristiche e limiti delle teorie per la descrizione di fluidi e plasmi.

L'equazione di Boltzmann non collisionale.

Fluidi neutri: l'equazione di Boltzmann collisionale; le equazioni dei momenti e la derivazione della fluidodinamica. Proprietà dei fluidi ideali e derivazione macroscopica delle equazioni della fluidodinamica. Flussi viscosi. Teoria lineare di onde e instabilità . L'approccio perturbativo. Turbolenza nei fluidi neutri, la teoria di Kolmogorov.

Plasmi: proprietà fondamentali ed esempi in natura e laboratorio. Teoria delle orbite. Dinamica di un sistema di molte particelle cariche.

Modello cinetico per un plasma: la gerarchia BBGKY, l'equazione di Vlasov; . Il modello a due fluidi. Processi non collisionali; lo smorzamento di Landau. Il modello a fluido unico: MHD ideale e resistiva. Processi collisionali nei plasmi. Diffusione e trasporto.

Esempi di instabilità MHD. Teoria delle topologie magnetiche: riconnessione magnetica, il modello di Sweet-Parker. L'elicità magnetica e

il teorema di Woltjer. La generazione del campo magnetico: l'effetto dinamo. Dinamo cinetica e dinamo MHD. Esempi di dinamo in

astrofisica e laboratorio. Turbolenza MHD.

**Modalità di esame :**

Orale.

**Criteri di valutazione :**

Conoscenza del programma svolto e capacita' di rielaborazione autonoma del materiale presentato a lezione.

**Testi di riferimento :**

Choudhuri, Arnab Rai, *The physics of fluids and plasmas*. Cambridge: Cambridge university press, 1998

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Testo di riferimento. Limitate integrazioni previste da altri testi segnalati a lezione.

## FISICA DEI SEMICONDUTTORI

(Titolare: Prof. DAVIDE DE SALVADOR) - Mutuato da: Laurea magistrale in Scienza dei Materiali (Ord. 2015)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Conoscenza di base della fisica quantistica e dello stato solido.

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Conoscenze: principi fisici alla base del comportamento dei materiali semiconduttori. L'obbiettivo del corso e' fornire i concetti di base che permettano allo studente di comprendere il principio di funzionamento di un semplice dispositivo a semiconduttore. Dopo una prima parte in cui vengono introdotti i principi fisici, verranno descritti i principali dispositivi e alcuni processi fisici che servono a fabbricarli.

Lo studente alla fine del corso dovrebbe avere l'abilita' di prevedere quale struttura a bande assume un semplice sistema che contenga metalli, isolanti e semiconduttori drogati e di comprendere la spiegazione di come tale struttura si comporta in presenza di sollecitazioni esterne (campi, illuminazione....).

**Attivita' di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezione frontale con esposizione delle teorie di base e dei principi di funzionamento dei dispositivi. Esempi di approfondimento che permettano di applicare le teorie esposte e di quantificare gli ordini di grandezza dei parametri fisici coinvolti. Richiamo alle attivita' di laboratorio parallelamente svolte nel corso di metodi fisici di caratterizzazione dei materiali e loro connessione con la teoria.

**Contenuti :**

Richiamo della struttura cristallina dei principali semiconduttori. Semiconduttori elementari, composti e leghe.

Richiamo di concetti di base (teorema di Bloch, massa efficace, concetto di buca).

Origine e specificita' della struttura a bande dei semiconduttori. Metodo tight binding per il calcolo approssimato delle bande in un semiconduttore a struttura diamante e nel grafene. Le bande reali (esempi GaAs, Si, Ge, AlGaAs).

Il metodo della funzione involuppo per il calcolo degli stati quantistici provenienti da potenziali aperiodici.

Il meccanismo di drogaggio. I portatori in un semiconduttore omogeneo in funzione di drogaggio e temperatura (semic. non degenera, intrinseco, ionizzato, non ionizzato, in saturazione). La compensazione da livello profondo.

Il semiconduttore non omogeneo all'equilibrio. Il caso della giunzione p-n.

Trasporto di carica nei semiconduttori. Equazione di drift-diffusione. Fenomeni di scattering intrabanda e mobilita' in un semiconduttore.

I meccanismi di generazione e ricombinazione in un semiconduttore.

L'equazione di continuita'. Il caso della giunzione p-n fuori equilibrio: polarizzazione e illuminazione.

Le eterogiunzioni le giunzioni metallo/semiconduttore, metallo/ossido/semiconduttore.

Il confinamento quantistico nei semiconduttori, quantum well, quantum wire, quantum dot.

LED, LED basati su GAN, fotodetector. Celle fotovoltaiche. Diverse architetture e materiali per il fotovoltaico. Efficienza. Meccanismi di perdita di efficienza. Celle a film sottile.

Tecnologie produttive. Transistor bipolare e FET. Struttura MOS.

Tecniche per il drogaggio. Impianto ionico. Diffusione e difetti.

Isolanti, ossidazione termica.

Legge di Moore e riscaldamento. Problematiche e nuovi materiali.

**Modalita' di esame :**

Esame orale. Durante il semestre sarA possibile (a discrezione dello studente) sostenere una verifica intermedia orale sulla prima parte del corso riguardante i principi fisici e sostenere alla fine una seconda parte riguardante i dispositivi e i processi.

**Criteri di valutazione :**

Verranno valutate:

- la capacita' di esporre una o piu delle teorie di base che spiegano il comportamento fisico dei semiconduttori.

- la comprensione del principio di funzionamento di uno o piu dispositivi a semiconduttore spiegati nel corso.

- la capacita' di comprendere la struttura a bande e il comportamento elettrico di una semplice struttura contenente semiconduttori drogati, metalli e isolanti.

**Testi di riferimento :**

Singh, *Electronic and Optoelectronic Properties of Semiconductor Structures*. : Cambridge,

Sapoval, *Physics of semiconductors*. : Springer Verlag,

Sze, Simon Min, *Semiconductor devices physics and technology* S. M. Sze. New York: J. Wiley & sons, 0

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Saranno forniti i lucidi del corso

## FISICA DEI SISTEMI COMPLESSI

(Titolare: Prof. ATTILIO STELLA)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Contenuti :**

Introduzione alla fisica della complessità e dei fenomeni emergenti (punti di vista generali di PW. Anderson, N. Goldenfeld, L. P. Kadanoff,...)

Argomenti scelti in statistica dei polimeri, percolazione, frattali, e sistemi disordinati.

Moto Browniano. Matematica del moto browniano e equazioni differenziali stocastiche. Processi stocastici. Meccanica statistica fuori dall'equilibrio. Reversibilità microscopica e irreversibilità macroscopica. Bilancia dettagliata all'equilibrio. Relazioni di reciprocità di Onsager con esempi (effetti Seebeck e Peltier, ecc.). Teorema fluttuazione risposta, suscettività dinamica e teorema fluttuazione-dissipazione. Relazioni di Kramers-Kronig. Basi microscopiche del moto Browniano.

Termodinamica fuori equilibrio alle scale micro e nanometriche. Descrizione Markoviana della dinamica fuori equilibrio. Teoremi di fluttuazione e identità riguardanti il lavoro. Bilancia dettagliata generalizzata. Produzione di entropia. Processo asimmetrico con semplice esclusione e processi collegati, alcuni risultati. Teoria della grandi deviazioni. Motori molecolari. Applicazioni del teorema di Gallavotti-Cohen.

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

---

**FISICA DELLA FUSIONE NUCLEARE ED APPLICAZIONE DEI PLASMI**

---

(Titolare: Dott. EMILIO MARTINES)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Conoscenze di base di elettromagnetismo. Una conoscenza delle diverse descrizioni di un plasma (cinetica, a due fluidi, magnetoidrodinamica) è utile ma non necessaria, in quanto verranno fornite delle nozioni essenziali durante il corso.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

La prima parte del corso si propone di fornire una panoramica delle tematiche relative al possibile utilizzo della fusione termonucleare controllata come fonte di energia. La trattazione sarà focalizzata sul metodo del confinamento magnetico, che è quello utilizzato nell'ambito del Programma Fusione Europeo. Nella seconda parte verranno fornite alcune nozioni sui plasmi di bassa temperatura utilizzati nelle applicazioni industriali, e verranno illustrate alcune di tali applicazioni.

**Contenuti :**

Prima parte: Breve panoramica sulle fonti di energia e sul loro impatto ambientale. La fusione nucleare: principali processi, sezioni d'urto, reattività. Bilancio energetico di un reattore a fusione, break-even, ignizione. Confinamento magnetico e confinamento inerziale. Configurazioni toroidali per il confinamento magnetico. Il tokamak. Schema concettuale del reattore. Equilibrio MHD in geometria cilindrica, z-pinch, screw-pinch. Equilibrio MHD in geometria toroidale, funzioni di flusso, equazione di Grad-Shafranov. Fattore di sicurezza, beta toroidale e poloidale. Limiti operativi del tokamak: diagramma di Hugill, limite di Greenwald, limite di beta. Leggi di scala del tempo di confinamento, modo L e modo H. Riscaldamento del plasma: ohmico, con fasci di neutri, con radiofrequenza. Regione esterna del plasma, concetti di limiter e divertore. Analogia formale fra traiettorie delle linee di campo magnetico e traiettorie di un sistema Hamiltoniano. Configurazioni toroidali alternative: stellarator e RFP. Stato della ricerca sulla fusione: il progetto ITER. Sicurezza e impatto ambientale del reattore a fusione.

Seconda parte: Introduzione alle applicazioni dei plasmi. Metodologie di formazione di un plasma. Modello del diodo piano, legge di Child-Langmuir. Strato di Debye, criterio di Bohm, potenziale flottante. Sonda di Langmuir e suo utilizzo per la misura delle proprietà del plasma. Sonda doppia e sonda tripla. Scariche a radiofrequenza, accoppiamento induttivo e capacitivo. Scariche a microonde. Cenni sui plasmi a pressione atmosferica. Applicazioni: applicazioni di "plasma medicine", propulsori al plasma per applicazioni spaziali.

**Modalità di esame :**

Esame orale

**Testi di riferimento :**

J. Wesson, Tokamaks. : Clarendon Press, 2004

J. R. Roth, Industrial Plasma Engineering, vol. 1. : IOP Publishing, 1995

M. A. Lieberman, A. J. Lichtenberg, Principles of plasma discharges and materials processing. : J. Wiley & Sons, 1994

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Verranno fornite delle dispense relative all'intero contenuto del corso.

---

**FISICA DELLO STATO SOLIDO**

---

(Titolare: Prof. FRANCESCO ANCILOTTO)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni



**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Conoscenze di elementi di Meccanica Quantistica di base

Conoscenze di elementi di Meccanica Statistica di base

(funzioni di distribuzioni, ensemble Canonico e gran Canonico, medie statistiche).

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Concetti fondamentali della fisica dei solidi e relazione tra le leggi microscopiche e le proprietà misurabili sperimentalmente.

Capacità di risolvere problemi che coinvolgono le proprietà della materia condensata.

Capacità di applicare a sistemi reali semplici modelli

predittivi che incorporano proprietà della materia su scala microscopica.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni in aula con uso di lavagna convenzionale e proiettore per trasparenze.

Settimanalmente verranno proposti agli studenti dei problemi inerenti argomenti trattati a lezione nei giorni immediatamente precedenti, da risolvere per conto proprio.

**Contenuti :**

Legami chimici nei solidi;

La struttura dei cristalli;

Reticoli di Bravais e basi;

Strutture cristalline semplici;

Reticolo reciproco;

Diffrazione da strutture periodiche e tecniche sperimentali;

Leggi di Bragg e di Laue;

Fattore di forma atomico e di struttura,

Approssimazione adiabatica;

Dinamica reticolare;

Approssimazione armonica,

Matrice Dinamica;

Fononi;

Catene lineari monoatomiche e diatomiche;

Spettroscopia dei fononi;

Proprietà termiche dei cristalli;

Calore specifico reticolare;

Effetti anarmonici: espansione termica, conducibilità termica degli isolanti;

Elettroni "liberi";

Calore specifico elettronico;

"Screening" elettrostatico in un gas di Fermi.;

Teorema di Bloch;

Struttura a bande;

Approssimazione di elettroni "quasi liberi";

Approssimazione "tight binding";

Esempi di struttura a bande;

Fenomeni di trasporto;

Modello di Drude;

Effetto Hall nei metalli;

Modello semiclassico;

Concetto di "buca";

Conducibilità elettrica e termica nei metalli;

Legge di Wiedemann e Franz;

Semiconduttori;

Risonanza di ciclotrone;

Portatori nei semiconduttori intrinseci ed estrinseci;

"Drogaggio" e stati di drogante;

Mobilità;

Conducibilità elettrica nei semiconduttori;

Effetto Hall nei semiconduttori;

La superficie di Fermi nei metalli reali.

**Modalità di esame :**

Esame orale sul programma svolto a lezione.

**Criteri di valutazione :**

Adeguata comprensione e visione di insieme di concetti e argomenti svolti a lezione.

**Testi di riferimento :**

C.Kittel, "Introduzione alla Fisica dello Stato Solido". : ,

N.Ashcroft e D.Mermin, "Solid State Physics". : ,

### **Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Vengono fornite le fotocopie (in formato pdf) delle slides mostrate a lezione.

## **FISICA NUCLEARE**

---

(Titolare: Prof.ssa SILVIA MONICA LENZI)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

### **Prerequisiti :**

Meccanica quantistica.

### **Conoscenze e abilità da acquisire :**

Lo studente approfondirà alcuni degli argomenti visti nel corso di Istituzioni di Fisica Nucleare della Laurea Triennale e sarà introdotto a nuovi argomenti sia sulle reazioni nucleari, sia sulla struttura del nucleo. Il corso fornisce una buona conoscenza delle proprietà del nucleo atomico che implica l'utilizzo di modelli a molti corpi. Inoltre verranno presentati e discussi i problemi più attuali della Fisica Nucleare.

### **Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Le lezioni si svolgono con l'ausilio di slides.

### **Contenuti :**

Programma di Fisica Nucleare 2016/2017

*Parte prima: Struttura del nucleo e modelli nucleari*

*Dall'interazione nucleone-nucleone all'interazione efficace nel nucleo.*

*Grandezze conservate*

*Simmetrie nella struttura dei nuclei*

*Modelli nucleari di campo medio*

*Modello della goccia liquida*

*Modello a gas di Fermi*

*Modello di Hartree Fock*

*Modello a shell*

*Modello a shell interattivo.*

*Applicazioni ed esercitazione per il calcolo della struttura nucleare: stati eccitati e probabilità di transizione.*

*Deformazione nucleare: Modello di Nilsson*

*Eccitazioni collettive*

*Moti vibrazionali*

*Moti rotazionali*

*Fisica dei nuclei esotici*

*Struttura di nuclei lontani dalla valle di stabilità*

*Accenni di astrofisica nucleare*

*Metodi sperimentali per lo studio della struttura nucleare.*

*Spettroscopia gamma e rivelatori ancillari.*

*Parte Seconda: Reazioni nucleari*

*Introduzione: proprietà del nucleo*

*-energia di legame*

*-equazione semiempirica di massa*

*-proprietà elettromagnetiche statiche dei nuclei: Momenti di multipolo*

*Le forze nucleari e il potenziale nucleare*

*- interazione nucleone-nucleone*

*- Il deutone*

*- isospin*

*- diffusione nucleone-nucleone*

*- proprietà delle forze nucleari*

*Reazioni Nucleari*

*- considerazioni generali: Cinematica delle collisioni a due corpi*

*- tipi di reazione e le osservabili coinvolte*

*- diffusione elastica e sezione d'urto di reazione*

*- reazioni di nucleo composto*

*- reazioni di Knock-out*

*Reazioni con Ioni Pesanti*

*- reazioni di trasferimento quasi-elastico di nucleoni*

*- aspetti fenomenologici delle reazioni nucleari alla barriera Coulombiana,*

*- fusione completa, formazione e decadimento del nucleo composto*

*- reazioni di fusione di interesse astrofisico*

- tecniche sperimentali

Verranno considerati come esempi e argomenti di discussione gli aspetti che riguardano la formazione di nuclei  $\llcorner$ superpesanti $\lrcorner$ , le reazioni con nuclei instabili.

**Modalita' di esame :**

L'esame consiste in una prova orale con eventuale presentazione di un lavoro di ricerca su argomenti diversi proposti dal docente.

**Criteri di valutazione :**

Buon dominio dei principali argomenti del corso.

**Testi di riferimento :**

Kris Heyde, *Basic Ideas and Concepts in Nuclear Physics*. Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1999

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

I libri di testo e le slides messe a disposizione dai docenti nel sito moodle. Inoltre verra; messo a disposizione altro materiale di rassegna di carattere didattico sugli argomenti piu' attuali della fisica nucleare teorica, sperimentale e applicata.

## FISICA SUBNUCLEARE

(Titolare: Prof. RICCARDO BRUGNERA)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Lo studente deve in precedenza aver seguito il corso di Istituzioni di Fisica Subnucleare (informazioni di base sulla Fisica Subnucleare) e il corso di Fisica Teorica (seconda quantizzazione, QED).

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Il corso, partendo dai contenuti acquisiti nel corso di Istituzioni di Fisica Subnucleare, fornisce, con un approccio principalmente sperimentale, informazioni fondamentali su alcuni aspetti importanti del Modello Standard (Cromodinamica, Teoria Elettrodebole, Fisica dei sapori e delle oscillazioni). Lo studente avra' alla fine del corso una panoramica abbastanza attuale dello stato della fisica subnucleare. Lo studente dovrebbe essere in grado di valutare criticamente i risultati ottenuti dagli esperimenti di Fisica delle Alte Energie.

**Attivita' di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Il corso si sviluppa attraverso lezioni di tipo frontale con l'utilizzo di slides.

**Contenuti :**

Cromodinamica quantistica

Lagrangiana di QCD, Cenni alle eq. del gruppo di rinormalizzazione,  $\alpha_s$  come running coupling constant.

Equazioni di Dokshitzer-Gribov-Altarelli-Parisi. Funzioni di struttura.

Processi di adronizzazione.

Teoria elettrodebole

Modello  $SU(2) \times U(1)$ , correzioni radiative, fisica della Z, interferenza e asimmetrie a LEP, fisica a LEP II

Modello di Goldstone, meccanismo di Higgs, fenomenologia dell'Higgs, ricerche del bosone di Higgs.

Fisica ai colliders adronici: ricerca e proprieta' del quark top e dei bosoni vettori.

Matrice CKM

Gerarchia dei parametri, parametrizzazione originale e sviluppo di Wolfenstein. Triangolo di Unitarieta'. Esempi di misura di alcuni elementi della matrice.

Violazione di CP e oscillazione di particelle

Gli stati del sistema K neutro

Oscillazioni di stranezza

Rigenerazione

La violazione di CP

Oscillazioni e violazione di CP nel sistema B neutro

Violazione di CP nei decadimenti mesonici

Oscillazioni dei neutrini: oscillazioni tra due sapori, oscillazioni tra tre sapori, oscillazioni dei neutrini nella materia.

Neutrini dal sole e studi delle oscillazioni. Oscillazioni dei neutrini atmosferici ed esperimenti. Oscillazioni dei neutrini atmosferici ed esperimenti. Esperimenti long-baseline. Conseguenze delle oscillazioni dei neutrini.

**Modalita' di esame :**

Orale

**Criteri di valutazione :**

La verifica consiste in un colloquio volto ad accertare il livello di apprendimento dei concetti e delle problematiche piu'importanti sviluppate durante le lezioni.

**Testi di riferimento :**

R.K. Ellis, W.J. Stirling and B.R. Webber, *QCD and Collider Physics*. : Cambridge Univerity Press, 1996

R. Devenish and A. Cooper-Sarkar, *Deep Inelastic Scattering*. : Oxford University Press, 2004

F. Halzen and A.D. Martin, *Quarks & Leptons*. : John Wiley & Sons, 1984

W.E. Burcham and M. Jones, *Nuclear and Particle Physics*. : Lonman Scientific & Technical, 1995  
A. Bettini, *Elementary Particle Physics*. : Cambridge University Press, 2008  
C. Giunti and C.W. Kim, *Fundamentals of Neutrino Physics and Astrophysics*. : Oxford University Press, 2007  
**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**  
Durante il corso verranno forniti agli studenti ulteriori informazioni bibliografiche su specifici argomenti.

## FISICA TEORICA

(Titolare: Prof. STEFANO RIGOLIN)

**Periodo:** I anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 96A; 12,00 CFU

### Prerequisiti :

I contenuti dei corsi della Laurea, in particolare la parte di Meccanica Quantistica del corso di Istituzioni di Fisica Teorica

### Conoscenze e abilità da acquisire :

Conoscenza e comprensione degli strumenti matematici principali per la descrizione del concetto di simmetria e la sua applicazione ai sistemi fisici, in particolare quelli descritti dalla Meccanica Quantistica.

Equazioni d'onda relativistiche, quantizzazione canonica dei campi liberi e introduzione alla teoria quantistica dei campi, e capacità di applicare tali conoscenze alla risoluzione di problemi.

### Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Lezioni frontali di teoria e esercizi

### Contenuti :

Parte A: Simmetrie in fisica classica e quantistica. Gruppi, sottogruppi, quozienti. Simmetrie dinamiche e applicazioni fisiche.

Rappresentazioni di gruppi: gruppo  $S_n$  e simmetrie di cristalli e di particelle identiche. Gruppi topologici, compatti e rappresentazioni unitarie su spazi di Hilbert. Gruppi e algebre di Lie e loro rappresentazioni. Rotazioni, composizione dei momenti angolari quantistici, spin. Gruppi di Lorentz e Poincaré e loro rappresentazioni.

Parte B: Richiami sul formalismo della Meccanica Quantistica. Lagrangiana e Hamiltoniana per un sistema a finiti e infiniti gradi di libertà.

Introduzione alle equazioni relativistiche: Klein-Gordon e Dirac. Quantizzazione canonica di teorie di campo libero non-relativistiche e relativistiche. Teoria di campo interagente. Sviluppo di matrice S e regole di Feynman.

### Modalità di esame :

Esame scritto e orale

### Criteri di valutazione :

Verifica della comprensione della parte teorica del corso e della capacità di svolgere esercizi ad esso attinenti

### Testi di riferimento :

F. Mandl , G. Shaw, *Quantum Field Theory (2nd edition)*. : John Wiley and Sons, 2010

J. Cornwell, *Group theory in physics : an introduction*. : Academic Press, 1997

B.C. Hall, *Lie groups, Lie algebras and Representations. An elementary introduction..* : Springer-Verlag, 2004

R. D'Áuria , M. Trigiante, *From Special Relativity to Feynman Diagrams*. : Springer, 2011

C. Itzykson , J.B. Zuber, *Quantum Field Theory*. : McGraw-Hill, 1980

## FONDAMENTI DI FISICA SUBNUCLEARE

(Titolare: Prof. FRANCO SIMONETTO)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

### Prerequisiti :

Fisica Teorica, dinamica relativistica, interazione radiazione materia

### Conoscenze e abilità da acquisire :

Metodologie sperimentali per lo studio della Fisica Subnucleare. Organizzazione delle particelle elementari. Caratteristiche delle forze che si sviluppano fra queste. Capacità di stimare, almeno per ordini di grandezza, le frequenze e le sezioni d'urto dei processi di maggiore interesse.

### Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Lezioni frontali alla lavagna. Esercizi numerici. Lezioni con proiettore.

### Contenuti :

Introduzione. Tecniche di rivelazione delle particelle elementari. Simmetrie e leggi di conservazione. vita media. Risonanze. Struttura degli adroni e modello a quark. QED. Deep inelastic scattering. QCD. Interazioni deboli. Bosoni intermedi massivi.

Decadimenti deboli, neutrini, violazione di P e C nei decadimenti deboli. Decadimento del pione e soppressione "per elicità".

Universalità leptonica. Cenni sulla matrice CKM. Oscillazioni di sapore e violazione di CP.

### Modalità di esame :

scritto: soluzione di esercizi numerici, domande a risposta multipla, discussione su temi aperti; orale

### Criteri di valutazione :

scritto : 10 punti (minimo 5) ; orale 20 punti (minimo 10) ; minimo complessivo 18. Possibilità di integrare con sedute di laboratorio.

### Testi di riferimento :

Bettini, Alessandro, *Introduction to elementary particle physics* Alessandro Bettini. Cambridge: Cambridge University Press, 2014

Halzen, Francis; Martin, Alan Douglas, *Quarks and leptons an introductory course in modern particle physics* Francis Halzen, Alan D.

Martin. New York etc.: J. Wiley, 0

De Angelis, Alessandro; Pimenta, Mário João Martins, *Introduction to particle and astroparticle physics* questions to the

Universe Alessandro De Angelis, Mário João Martins Pimenta. Milan [etc.]: Springer, 2015

Perkins, Donald H., *Introduction to high energy physics* Donald H. Perkins. Menlo Park: CA [etc.], Addison-Wesley, 0

## Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Appunti dalle lezioni, libri di testo

# ISTITUZIONI DI ASTROFISICA E COSMOLOGIA

(Titolare: Prof. SABINO MATARRESE)

**Periodo:** I anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

## Prerequisiti :

Si richiede la conoscenza dei concetti fondamentali di meccanica quantistica e di relatività ristretta.

## Conoscenze e abilità da acquisire :

La capacità di affrontare una classe di fenomeni fisici e astronomici la cui comprensione richiede un approccio basato su strumenti largamente interdisciplinari.

La capacità di passare dalla formulazione astratta di alcuni principi fisici acquisiti nei corsi fondamentali del triennio e di strumenti matematici alla loro applicazione in un contesto per molti aspetti diverso da quello dei corsi di base.

## Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Lezioni frontali.

## Contenuti :

Concetti di base della Cosmologia

• Componenti principali dell'Universo. Evidenza osservativa della presenza di materia oscura ed energia oscura.

• Universo in espansione e Principio Cosmologico.

• Elemento di linea di Robertson-Walker. Proprietà geometriche.

• Costante di Hubble e parametro di decelerazione.

• Definizioni di distanza in Cosmologia; redshift e legge di Hubble.

• Deduzione Newtoniana delle equazioni di Friedmann.

• Modelli di Friedmann.

• La costante cosmologica: soluzione statica di Einstein e modello di de Sitter.

• Soluzioni per il caso piatto e per Universi con curvatura non nulla.

## Storia termica e Universo primordiale

• Densità numerica, densità di energia e pressione per un sistema di particelle in equilibrio termodinamico.

• Conservazione dell'entropia in un volume comovente.

• Relazione temperatura-tempo in epoche primordiali.

• Problemi del modello standard: orizzonte, piattezza, etc..

• "Inflazione" nell'Universo primordiale. Soluzione del problema dell'orizzonte e della piattezza.

• Asimmetria barionica. Bariogenesi (cenni).

• La ricombinazione dell'idrogeno: equazione di Saha. Disaccoppiamento della radiazione. Radiazione Cosmica alle Microonde.

• Definizione generale di "disaccoppiamento".

## Materia oscura: proprietà generali

• Equazione di Boltzmann in cosmologia e relitti cosmici.

• Materia oscura calda e fredda: definizione, calcolo dell'abbondanza attuale e proprietà generali in cosmologia.

## Elementi di astrofisica stellare

• Nucleosintesi primordiale degli elementi leggeri.

• Contrazione gravitazionale e condizioni per l'equilibrio idrostatico

• Indice adiabatico ed equilibrio.

• Condizioni per il collasso gravitazionale

• Teoria di Jeans dell'instabilità gravitazionale

• Teoria lineare delle perturbazioni nell'Universo in espansione (cenni)

• Collasso sferico di una protostruttura cosmica.

• La funzione di massa delle strutture cosmiche: teoria di Press & Schechter.

• Contrazione di una protostella

• Formazione stellare e gas degenere di elettroni.

• Il Sole: proprietà generali, diffusione radiativa, fusione termonucleare.

• Nucleosintesi stellare

• Cicli stellari.

\* Elementi di struttura stellare. Massa minima e massima per una stella.

• Fasi finali dell'evoluzione stellare: nane bianche, stelle di neutroni, buchi neri.

• Diagramma di Hertzsprung-Russell.

## Modalità di esame :

Esame orale.

## Criteri di valutazione :

L'esame orale mira a sondare la capacità dello studente di elaborare in modo autonomo le varie problematiche affrontate nel corso, partendo da alcuni concetti fondamentali.

## Testi di riferimento :

Coles, P. and Lucchin, F., *Cosmology, The Origin and Evolution of Cosmic Structure*. Chichester: Wiley and Sons., 2002

Phillips, A.C., *The Physics of Stars*. Chichester: Wiley and Sons., 1994  
Kolb, E.W. and Turner, M.S., *The Early Universe*. Redwood City,: Addison-Wesley, 1990

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Le parti rilevanti per il corso dei testi di riferimento verranno indicate a lezione (e sono deducibili dagli argomenti del programma). Saranno anche forniti appunti del docente su molti argomenti.

## LABORATORIO DI FISICA

---

(Titolare: Dott. ALAIN GOASDUFF)

**Periodo:** I anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 16A+32L; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Contenuti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Modalità di esame :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Criteri di valutazione :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

CONTENUTO NON PRESENTE

## MECCANICA STATISTICA

---

(Titolare: Prof. ENZO ORLANDINI)

**Periodo:** I anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Istituzioni di Meccanica Statistica.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Termodinamica delle transizioni di fase.

Tecniche di campo medio di matrice di trasferimento, di scaling e di gruppo di rinormalizzazione per modelli statistici di sistemi interagenti a multi corpi.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali di teoria e esercizi su problemi inerenti al corso.

**Contenuti :**

Termodinamica delle transizioni di fase. Punti critici, parametro d'ordine ed esponenti critici. Transizioni di fase e rottura spontanea di simmetria. Argomenti entropia-energia e definizione di dimensione critica inferiore. Modello di Ising. Tecniche di risoluzione esatta per modelli unidimensionali: matrice di trasferimento. Approssimazione di campo medio, principio variazionale. Formulazione funzionale del problema delle transizioni di fase e approssimazione di Landau. Funzioni di correlazione e funzioni di risposta. Scattering e funzioni di correlazione. Singolarità critiche. Relazioni di scala fra esponenti critici. Omogeneità e scaling di Kadanoff. Gruppo di rinormalizzazione nello spazio reale. Universality. Rottura spontanea di simmetria per simmetrie continue e teorema di Goldstone.

**Modalità di esame :**

Prova scritta con problemi da risolvere e domande di teoria.

Orale.

**Criteri di valutazione :**

La valutazione della preparazione dello studente si baserà sia sulla comprensione dei concetti di base del corso sia sulla capacità di risolvere problemi in modo autonomo e consapevole basandosi sulle metodologie e tecniche analitiche illustrate durante il corso.

**Testi di riferimento :**

K. Huang, *Meccanica Statistica*. : Zanichelli,

L. Peliti, *Statistical Mechanics in a Nutshell*. : Princeton,

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Appunti del corso verranno distribuiti durante le lezioni.

## MICROSCOPIA OTTICA

---

(Titolare: Dott. STEFANO BONORA)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Corsi di Fisica di base

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Il corso fornirà allo studente una conoscenza delle tecnologie di microscopia ottica con particolare enfasi alle tecniche di microscopia a super risoluzione ed all'ottica adattiva.

Inoltre lo scopo del corso quello di fornire una introduzione alla progettazione ottica, alla teoria della formazione dell'immagine. Le esperienze di laboratorio hanno lo scopo di fornire una conoscenza della strumentazione di un laboratorio di ottica e di lavorare sull'utilizzo di strumentazione per la microscopia.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali e di laboratorio (>4h).

**Contenuti :**

Introduzione all'ottica: EM waves; optical path length; a matrix formalism for geometrical optics; lenses; optical instruments

Teoria della formazione dell'immagine coerente ed incoerente: phase transformation with a thin lens; frequency responses of diffraction-limited optical systems; the Abbe sine condition.

Microscopio a luce trasmessa: Köhler illumination; conjugate planes and light paths; the Abbe theory of image formation in the microscope.

Metodi di generazione del contrasto: phase contrast, dark field, differential interference contrast (DIC).

Fluorescenza: molecular spectra; rate constants and rate equations; fluorescence life time; quantum efficiency; fluorescence intensity; excited state saturation; Stokes shift; Jablonski diagram; the conventional fluorescence microscope; the axial blurring problem.

Microscopia confocale: point spread functions; optical sectioning and volume reconstruction; physical principles of two-photon excitation; pros and cons of different confocal systems.

Tomografia a coerenza ottica

Tecniche di microscopia a super risoluzione: STED microscopy and super-resolution: confocal imaging beyond the classical limit. Structure illumination microscopy, 4PI, single molecule microscopy.

Introduzione all'ottica adattiva: adaptive optics Technologies (deformable mirrors, spatial light modulators, adaptive lenses), methods of wavefront measurement, control strategies. Design of an adaptive optics system and applications of adaptive optics.

Attività di laboratorio

**Modalità di esame :**

Esame scritto con tre domande e presentazione orale di un approfondimento a scelta.

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Slide del corso

Per eventuali approfondimenti:

Born M. & Wolf E., "Principles of Optics", 7th expanded edition, Cambridge University Press, 1999; ISBN 0521642221

Pawley J.B., "Handbook of Biological Confocal Microscopy", Third edition, Plenum Press, 2006; ISBN 038725921X

---

**PROVA FINALE**

(Titolare: da definire)

**Periodo:** Il anno, 2 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** ; 42,00 CFU

---

**RADIOATTIVITÀ E MISURE NUCLEARI**

(Titolare: Prof. MARCO MAZZOCCO)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 32A+16E; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Frequenza dei corsi di Istituzioni di Fisica Nucleare e Fisica Nucleare

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Introduzione alla Fisica Nucleare "contemporanea". Verranno presentate le principali linee di ricerca sperimentale in Fisica Nucleare con particolare attenzione all'attività svolta presso i Laboratori Nazionali di Legnaro e alla sperimentazione con Fasci Radioattivi Accelerati.

**Contenuti :**

*I decadimenti radioattivi: (richiami/approfondimento). Richiami di interazione delle particelle cariche e neutre con la materia nel range di energia della fisica nucleare e di tecniche di rivelazione.*

*Misure nucleari a bassa energia: Acceleratori di ioni: sorgente di ioni, trasporto del fascio, analisi magnetica. Spettrometri magnetici, rivelatori di neutroni, particelle cariche e radiazione gamma.*

*Dinamica delle reazioni con ioni pesanti: i diversi tipi di reazioni nucleari dalla diffusione elastica alla fusione completa. Tecniche specifiche di identificazione dei prodotti di reazione, telescopi di rivelatori. Misure di sezioni d'urto ad energie attorno alla barriera coulombiana. Misure di distribuzioni angolari e di funzioni di eccitazione.*

*Spettroscopia gamma: calibrazione in energia degli spettri gamma, calcolo dell'efficienza energetica, calcolo dell'attività. Distribuzione angolare gamma, multipolarità e polarizzazione. La correlazione angolare e la descrizione dello stato nucleare con il tensore statistico.*

*Misure di vita media di stati eccitati: metodo elettronico, plunger, DSAM, Mossbauer.*

*Fasci radioattivi: Metodi di produzione di  $^{18}O$  e  $^{15}N$ : Reazioni con fasci secondari ISOL: Eccitazione coulombiana, trasferimento nucleoni. Reazioni con fasci secondari relativistici: eccitazione coulombiana e inelastica, knock-out, scambio di carica. Decadimento beta: misure con Isol, In-flight, Total absorption spectrometry. Beta-delayed neutron emission.*

*Astrofisica nucleare: Cenni alle reazioni nucleari nelle stelle e alla sintesi degli elementi, Gamow peak, S-factor. Derivazione della velocità di reazione termonucleare. Dipendenza dalla temperatura della velocità di reazione nucleare. Cicli di combustione: combustione dell'idrogeno mediante la catena p-p e il ciclo CNO. Combustione dell'elio con reazioni 3-alfa e alfa + C. Reazioni di combustione nucleare avanzata. Misure di sezioni d'urto rilevanti: misure dirette underground, misure indirette Trojan-Horse, ecc.*

*Tecniche di misure di bassa radioattività: Il problema della radioattività ambientale, caratteristiche di un buon materiale schermante, panoramica sui materiali schermanti (piombo, ferro, rame OFHC, mercurio). Il Rn come contaminante in misure di bassa radioattività. Radioattività intrinseca del rivelatore. Effetti della radiazione cosmica.*

*Applicazioni: La datazione con radionuclidi. I radionuclidi in medicina nucleare. La fusione di nuclei leggeri per la produzione di energia. Cenni sui reattori nucleari. Spettrometria di massa con acceleratori per analisi in traccia. Analisi non distruttive con attivazione da neutroni.*

#### **Modalità di esame :**

*Esame orale sugli argomenti coperti durante il corso. E' prevista anche una parte di approfondimento personale.*

#### **Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

#### **Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

*Monografie, articoli di rassegna ed articoli su riviste scientifiche consigliati dal docente durante le lezioni.*

## **TEORIA DEI CAMPI 1**

(Titolare: Prof. MARCO MATONE)

**Periodo:** I anno, 2 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

#### **Prerequisiti :**

*Elettrodinamica Classica. Meccanica Quantistica non relativistica. Equazione di Klein-Gordon. Equazione di Dirac.*

#### **Conoscenze e abilità da acquisire :**

*Il corso è incentrato sulla formulazione perturbativa della teoria quantistica dei campi. In particolare, le competenze e abilità da acquisire riguardano aspetti generali della quantizzazione canonica, una buona conoscenza della formulazione path-integral della teoria dei campi, sia nel caso scalare che fermionico. Parte essenziale del corso riguarda la formulazione path-integral dell'elettrodinamica quantistica e la teoria della rinormalizzazione.*

*Oltre a tali conoscenze lo studente dovrà essere in grado di calcolare i contributi fino a 2-loop nel caso scalare ( $\phi^4$ ) e a 1-loop nel caso dell'elettrodinamica quantistica.*

#### **Contenuti :**

Quantizzazione canonica.

Teorema Spin statistica.

Teorema CPT.

*Formulazione della meccanica quantistica in termini dell'integrale sui cammini. L'osservazione originale di Dirac e formulazione di Feynman.*

Propagatore di Feynman.

Azione effettiva.

Approssimazione del punto a sella.

Calcolo dei determinanti e loro proprietà di scala.

----

Calcoli perturbativi nella teoria  $\phi^4$ :

Regole di Feynman.

Divergenze dei diagrammi di Feynman.

Tecniche di regolarizzazione.



Regolarizzazione dimensionale.

Calcolo degli integrali di Feynman.

Rinormalizzazione.

Equazione del gruppo di rinormalizzazione.

Funzione beta.

----

Sezione d'urto, teoria asintotica, formula di riduzione LSZ, unitarietà.

----

Integrali sui cammini nel caso fermionico:

Integrazione su variabili grassmanniane.

Integrale sui cammini per i campi fermionici liberi.

Regole di Feynman per campi spinoriali.

Determinanti fermionici.

----

Elettrodinamica Quantistica (QED):

Simmetrie di gauge.

Regole di Feynman per il campo di gauge.

Gauge fixing.

Calcolo dei diagrammi di Feynman a 1-loop della QED.

Identità di Ward.

Momento magnetico anomalo dell'elettrone.

Rinormalizzazione della QED.

### **Modalità di esame :**

Lo studente dovrà dimostrare di aver acquisito una buona conoscenza della formulazione perturbativa della teoria quantistica dei campi. Durante l'esame, che è orale, sarà anche richiesto il calcolo esplicito di un diagramma di Feynman ( $\phi^4$  o QED).

### **Testi di riferimento :**

M.E. Peskin e D.V. Schroeder, *An Introduction to Quantum Field Theory*. : Westview, 1995

C. Itzykson e J.-B. Zuber, *Quantum Field Theory*. : McGraw-Hill, 1980

Pierre Ramond, *Field Theory: A Modern Primer*. : Addison-Wesley, 1989

---

## **TEORIA DEI CAMPI 2**

(Titolare: Prof. KURT LECHNER)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

### **Prerequisiti :**

Si presuppone che lo studente possieda conoscenze adeguate del metodo della quantizzazione canonica in teoria dei campi e in particolare in Elettrodinamica Quantistica, abbia nozioni elementari del formalismo dell'integrale funzionale e conosca la tecnica dei grafici di Feynman.

### **Conoscenze e abilità da acquisire :**

Il corso si propone di fornire agli studenti una buona conoscenza delle teorie quantistiche relativistiche di campo, formulate in termini dell'integrale funzionale, proposte come teorie descrittive le interazioni fondamentali a livello microscopico. Argomento centrale del corso è la quantizzazione delle teorie di gauge non abeliane e la loro rinormalizzazione perturbativa. Scopo del corso è, da una parte, fornire agli studenti i mezzi operativo-computazionali per eseguire un'analisi quantitativa di una generica teoria di campo

quantistica e confrontare le sue previsioni con i fenomeni fisici e, dall'altra, insegnargli di analizzare le proprietà di consistenza interna della teoria. In particolare lo studente dovrebbe sviluppare la capacità di distinguere gli aspetti perturbativi da quelli non perturbativi di una teoria di campo.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali. Una parte del corso è dedicata alla soluzione di problemi concreti in applicazione degli insegnamenti teorici forniti.

**Contenuti :**

- 1) INTRODUZIONE ALLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE. Aspetti perturbativi e assiomatici.
- 2) INTERAZIONI QUANTISTICAMENTE CONSISTENTI. Teorema di Coleman-Mandula. Caratteristiche delle interazioni al variare dello spin. Dualità tra assione e campo scalare.
- 3) TEORIE DI CAMPO CLASSICHE. Azioni ed equazioni del moto. Universalità degli accoppiamenti consistenti. Accoppiamenti chirali e di Yukawa. Simmetrie globali e teorema di Noether. Teorie con invarianze locali abeliane e non abeliane. Connessione e curvatura di Yang-Mills (YM). Derivata covariante. Correnti covarianti e correnti conservate. Autointerazione dei campi di YM. Carica di colore.
- 4) INTEGRALE FUNZIONALE. Funzionali generatori delle funzioni di Green. Generatore delle funzioni 1PI. Spazio euclideo e analiticità. Metodo dei campi di background. Simmetrie lineari classiche e loro implementazione quantistica. Applicazioni alla QED. Determinanti di campi commutanti e anticommutanti. Potenziale effettivo di Coleman-Weinberg e rottura radiativa di simmetria. Derivazione delle Regole di Feynman per una generica teoria locale. Esempio della QED scalare.
- 5) METODO PERTURBATIVO E RINORMALIZZABILITÀ. Richiami di regolarizzazione dimensionale e del metodo dei parametri di Feynman. Correzioni a più loop. Località delle divergenze ultraviolette. Rinormalizzabilità perturbativa in diverse dimensioni.
- 6) TEORIA LAMBDA PHI ALLA TERZA IN  $D = 6$  COME LABORATORIO. Rinormalizzazione esplicita a una loop. Propagatore esatto a una loop. Controtermini. Funzione beta e dimensione anomala. Libertà asintotica e trasmutazione dimensionale. Rinormalizzazione a due loop. Divergenze annidate e divergenze sovrapposte. Cancellazione delle divergenze non-locali.
- 7) QUANTIZZAZIONE DELLE TEORIE DI YM. Il problema della quantizzazione perturbativa dei campi di YM. Metodo di Faddeev-Popov e campi di ghost. Indipendenza dalla condizione di gauge-fixing. Invarianza di BRST e spazio fisico. Identità di Slavnov-Taylor e identità di Ward.
- 8) ANALISI PERTURBATIVA DELLE TEORIE DI YM. Regole di Feynman. Rinormalizzabilità. Determinazione esplicita dei controtermini divergenti a una loop e relazioni fra loro. Il ruolo dei ghost. Funzioni beta e libertà asintotica. La scala Lambda della QCD. Finitezza della teoria di YM supersimmetrica  $N=4$ .
- 9) ANOMALIE. Simmetrie chirali classiche e quantistiche. Calcolo esplicito dell'azione di Schwinger chirale in due dimensioni. Anomalie ABJ, grafici triangolari ed estensione a dimensioni arbitrarie. Metodo del vertice anomalo. Teorema di Adler-Bardeen. Cancellazione delle anomalie nel modello standard. Teorema dell'indice.
- 10) ISTANTONI. Soluzioni semiclassiche non perturbative in teoria di campo. Configurazioni istantoniche. Vuoti theta. Il problema della simmetria  $U(1)$ . Loop di Wilson.
- 11) DEEP INELASTIC SCATTERING. Struttura interna degli adroni e quarks. Urti a grandi momenti trasferiti. Fattori di forma. Rinormalizzazione di operatori composti. Scaling di Bjorken.
- 12) TEORIA ASSIOMATICA. Funzioni di Wightman e funzioni di Schwinger. Teorema di ricostruzione. Trivialità della teoria lambda phi alla quarta. Divergenze infrarosse e problema degli stati carichi in Elettrodinamica Quantistica. Teorema di Goldstone.

**Modalità di esame :**

L'esame consiste in una prova orale che include la soluzione di un problema.

**Criteri di valutazione :**

Alla prova orale si valuta la profondità raggiunta dallo studente nella comprensione della teoria e la capacità di esporre gli argomenti con senso logico e in modo coerente. Si valuteranno inoltre la capacità di saper affrontare un problema in modo indipendente, applicando le metodologie esposte a lezione, e di motivare le soluzioni proposte.

**Testi di riferimento :**

- Pierre Ramond, *Field theory: a modern primer*. Boulder Colorado: Westview Press, 1997  
Steven Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005  
Claude Itzykson, Jean-Bernard Zuber, *Quantum Field Theory*. New York: McGraw-Hill Book Co, 1987  
Mark Srednicki, *Quantum Field Theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007  
John C. Collins, *Renormalization*. Cambridge: Cambridge University Press, 1984  
Lewis H. Ryder, *Quantum Field Theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996

---

## TEORIA DEI SISTEMI FORTEMENTE CORRELATI

(Titolare: Prof. LUCA DELL'ANNA)

<b>Periodo:</b>	Il anno, 1 semestre
<b>Indirizzo formativo:</b>	Corsi comuni
<b>Tipologie didattiche:</b>	48A; 6,00 CFU

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Comprensione di alcuni fenomeni della fisica della materia tramite il metodo degli integrali funzionali.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni alla lavagna

**Contenuti :**

- I Parte: Introduzione e formalismo del path integral.
- Richiami di meccanica quantistica di singola particella e di particelle identiche
  - Seconda quantizzazione: operatori di creazione e distruzione
  - Operatori di singola e doppia particella
  - “ Stati coerenti bosonici
  - Algebra di Grassmann
  - Stati coerenti fermionici
  - Digressione sugli integrali gaussiani con variabili complesse e grassmaniane

- Integrali di Feynman
- Funzione di partizione e tempo immaginario
- Equazione del moto ed approssimazione di fase stazionaria
- Applicazione degli integrali di Feynman alla doppia buca: gas di istantoni
- Integrale funzionale con gli stati coerenti bosonici e fermionici
- Funzione di partizione per particelle non interagenti e funzioni di Green
- Particelle interagenti: teoria perturbativa
- Integrale funzionale per il campo di gauge elettromagnetico

Il Parte: Applicazioni.

- Gas di Coulomb
- â— L'approccio perturbativo
- â— Random Phase Approximation
- â— Il metodo dell'integrale funzionale
- Bosoni non interagenti: condensazione di Bose-Einstein
- Teorema di Goldstone
- Bosoni interagenti: Superfluidita'
- â— Lo spettro di Bogoliubov
- â— Criterio di Landau
- â— L'azione del modo di Goldstone
- â— Fenomenologia
- Superconduttività
- â— Fenomenologia ed equazioni di London
- â— Interazione elettrone- fonone
- â— Il problema di Cooper
- â— La teoria BCS con l'integrale funzionale: la gap e la temperatura critica
- â— La teoria di Ginzburg-Landau
- â— L'azione del modo di Goldstone
- â— L'effetto Meissner ed il meccanismo di Higgs

**Modalità di esame :**

Orale

**Criteri di valutazione :**

Conoscenza degli argomenti trattati nel corso, capacità di calcolo analitico e di esposizione orale.

**Testi di riferimento :**

J.W. Negele, H. Orland, *Quantum Many-Particle Systems.* ; ,  
 N. Nagaosa, *Quantum Field Theory in Condensed Matter Physics.* ; ,  
 A. Altland, B. Simons, *Condensed Matter Field Theory.* ; ,

## TEORIA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

(Titolare: Prof. STEFANO RIGOLIN)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Il corso richiede una conoscenza elementare della teoria dei campi e dell'uso dei diagrammi di Feynman.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Scopo del corso e' fornire una prima introduzione al Modello Standard delle interazioni Elettrodeboli e Forti, descrivendo i suoi fondamenti teorici e le principali conferme sperimentali della sua validità .

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

lezione frontale e esercizi da svolgere individualmente

**Contenuti :**

Contenuti: teoria di gauge non Abelian; rottura spontanea delle simmetrie globali e locali; lo Standard model; teorie effettive e Lagrangiana di Fermi; decadimento del muone e scattering da correnti neutre; fisica al polo della Z; matrice VCKM e violazione di CP; simmetrie in teoria dei campi; la Lagrangiana di QCD e le sue simmetrie; elementi di matrice semileptonici e decadimenti dei mesoni; il sistema dei kaoni neutri; violazione di CP e meccanismo GIM; liberta asintotica e modello a partoni; masse e oscillazioni di neutrino; il modello standard come una teoria effettiva e il problema della gerarchia.

**Modalità di esame :**

Esame orale, esercizi facoltativi

**Criteri di valutazione :**

La valutazione si baserà sul livello di comprensione degli argomenti svolti raggiunta dallo studente, e sulla capacità tecnica di riprodurre autonomamente i principali risultati ottenuti.

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

L. B. Okun, *Leptons and Quarks.* North-Holland, 1982.

M. E. Peskin and D. V. Schroeder, *An Introduction to Quantum Field Theory.* Addison Wesley, 1995.

Ta-Pei Cheng and Ling-Fong Li, *Gauge theory of elementary particle physics.* Clarendon Press-Oxford, 1984.

F. Mandl and G. Shaw, *Quantum field theory.* John Wiley publications, 1993.

---

# Curriculum: Sperimentale

---

## ELETTRONICA APPLICATA

---

(Titolare: Dott. GIANMARIA COLLAZUOL)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Sperimentale  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Contenuti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Modalità di esame :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Criteri di valutazione :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

CONTENUTO NON PRESENTE

## FONDAMENTI DI NANOFISICA

---

(Titolare: Prof. GIOVANNI MATTEI) - Mutuato da: Laurea magistrale in Scienza dei Materiali (Ord. 2015)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Sperimentale  
**Tipologie didattiche:** 40A+12L; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Fisica Quantistica, Fisica dello Stato Solido

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Il corso si prefigge i seguenti obiettivi formativi:

- Fornire le basi per la comprensione delle proprietà chimiche e fisiche dei materiali nanodimensionali che sono alla base delle loro potenziali applicazioni nel campo delle nanotecnologie.

- Presentare alcune tecniche di sintesi e caratterizzazione di nanostrutture confinate (nanocluster) con applicazioni nanotecnologiche in fotonica, in plasmonica e nel magnetismo.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Il corso prevede lezioni frontali tenute dal Prof. G. Mattei (Modulo A) e dai Prof. S. Agnoli e Prof. M. Meneghetti (Modulo B).

Il Modulo A prevede esercitazioni di laboratorio come applicazione dei contenuti visti a lezione (sintesi, caratterizzazione ottica e simulazione con la teoria di Mie di nanoparticelle metalliche in soluzione e loro caratterizzazione con microscopia elettronica).

**Contenuti :**

Modulo A (4 CFU)

- Classificazione, caratteristiche e proprietà generali dei materiali nanostrutturati: confinamento quantico e proprietà elettroniche.

Equazioni di taglia.

Proprietà termodinamiche di nanostrutture: effetto di taglia termodinamico, nucleazione (equazione di Gibbs-Thomson) e crescita di nanostrutture (regimi di aggregazione limitata dalla diffusione e Ostwald ripening)

Nanostrutture in matrice solida: impianto ionico per la sintesi e la modifica di nanostrutture metalliche. Verifica dei regimi di nucleazione e crescita.

Proprietà ottiche di nanostrutture: (i) proprietà plasmoniche di nanostrutture metalliche (Teoria di Mie e sue estensioni); (ii) confinamento quantico e fotoluminescenza in semiconductor quantum dots.

Proprietà magnetiche di nanostrutture: super-paramagnetismo

Tecniche di caratterizzazione di nanostrutture: la microscopia elettronica in trasmissione (TEM) e in scansione (SEM).

Modulo B (4 CFU)

- Panoramica sui metodi di preparazione delle nanostrutture (sia top-down che bottom-up, con particolare enfasi sulle seconde). Aspetti strutturali ed energetici delle nanostrutture e metodi per la loro stabilizzazione. Difetti nei materiali nanodimensionali. Solidi a porosità controllata. Forme delle nanoparticelle: aspetti termodinamici e cinetici. Nanoparticelle core-shell. Autoassemblaggio ed autoorganizzazione. Metodo colloidale. Effetto templante. Preparazione di nanoparticelle, nanowires, nanotubes, films ultrasottili. Self-assembled Monolayers. Films di Langmuir e Langmuir-Blodget. Interfacce coerenti, semi-coerenti, epitassiali e pseudomorfe. Metodi per crescita di films ultrasottili: CVD, MBE, PVD, ALE e PLD.

- Richiamo delle equazioni fondamentali per la descrizione della dinamica di elettroni e fotoni. Proprietà della materia che consentono il confinamento di elettroni e fotoni. Densità degli stati per sistemi confinati in una, due o tre dimensioni.

Proprietà di nanostrutture di carbonio a bassa dimensionalità: grafene e nanotubi. Descrizione tight binding delle loro proprietà di

conduzione, ottiche (assorbimento ed emissione) e di scattering Raman (Kataura plots).  
Modelli per il confinamento elettronico in quantum dots nel regime di debole e forte confinamento.  
Confinamento di elettroni in nano particelle metalliche e proprietà plasmoniche. Condizione di Froehlich e proprietà ottiche a campo prossimo e lontano. Effetto SERS con nano strutture plasmoniche.  
Cenni al confinamento di fotoni in cristalli fotonici.

\*\*\* MUTUAZIONE \*\*\*

Fondamenti di NanoFisica – “Laurea Magistrale in Fisica (6 CFU)

Il Modulo A del presente corso viene mutuato da parte del corso di 'Fondamenti di NanoFisica' della LM in Fisica. Per tale corso sono previsti 2 CFU addizionali con i seguenti contenuti:

- Richiamo delle equazioni fondamentali per la descrizione della dinamica di elettroni e fotoni;
- Confinamento di elettroni e fotoni in sistemi nanostrutturati:
  - (i) Confinamento di fotoni in cristalli fotonici;
  - (ii) Confinamento di elettroni in nanoparticelle metalliche;
  - (iii) Confinamento di elettroni in quantum dots.

Sono inoltre previste delle attività pratiche: (i) sintesi di nanoparticelle sferiche di Au in soluzione; (ii) misura del loro spettro di trasmittanza UV-VIS; (iii) simulazione degli spettri misurati tramite la teoria di Mie; (iv) caratterizzazione tramite microscopia elettronica.

**Modalità di esame :**

Prova Scritta

**Criteri di valutazione :**

La valutazione della preparazione si baserà sulla comprensione degli argomenti svolti e sulla capacità di fare collegamenti fra diversi argomenti.

Si valuteranno anche le relazioni scritte presentate sulla parte di esercitazione pratica.

**Testi di riferimento :**

R. Kelsall, I. Hamley, M. Geoghegan, *Nanoscale Science and Technology*. : J.Wiley& Sons, 2005

G. Cao, *Nanostructures and Nanomaterials*. : Imperial College Press, 2004

S. Maier, *Plasmonics, fundamentals and applications*. : Springer, 2007

P. Prasad, *Nanophotonics*. : Wiley-Interscience, 2004

C. Bohren, D. Huffman, *Absorption and scattering of light by small particles*. : Wiley-Interscience, 2004

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Verranno fornite dispense da parte dei Docenti. Gli argomenti e i contenuti trattati potranno essere approfonditi e/o integrati sui testi indicati nella sezione 'Testi di Riferimento'.

## INTRODUZIONE ALL'ELETTRODINAMICA QUANTISTICA

(Titolare: Prof. PIERPAOLO MASTROLIA) - Mutuato da: Laurea magistrale in Fisica (Ord. 2014)

**Periodo:** I anno, 2 semestre

**Indirizzo formativo:** Sperimentale

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Come interagiscono le particelle.

Diagrammi di Feynman, Ampiezze di scattering, Sezioni d'urto.

Correzioni Radiative e Rinormalizzazione.

Teorie di gauge Abeliane e non-Abeliane.

Unificazione Elettrodebole e Meccanismo di Higgs.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali ed esercizi

**Contenuti :**

Programma:

1. Elettrodinamica Quantistica: regole di Feynman; processi di scattering a livello di albero; diffusione di Rutherford e di Compton.
2. Introduzione alla Rinormalizzazione ed alla Regolarizzazione: i parametri di Feynman; "hard cut-off"; regolarizzazione dimensionale.
3. Esempi di calcoli ad 1 loop in QED: auto-energia del fotone; auto-energia dell'elettrone ed il polo di massa; il momento magnetico anomalo dell'elettrone.
4. Teoria delle perturbazioni rinormalizzata: controtermini; funzioni a due e tre punti; condizioni di rinormalizzazione; identità di Ward, disaccoppiamento della polarizzazione scalare del fotone; gli accoppiamenti "running".
5. Simmetrie di gauge non abeliane: derivate covarianti e "field strengths", termini cinetici per i campi di gauge; la teoria di gauge SU(2); la Lagrangiana di materia; regole di Feynman; vettore di gauge massiccio.
6. Rottura spontanea della simmetria: rottura di una simmetria discreta; rottura spontanea di una simmetria U(1) globale; teorema di Goldstone; il meccanismo di Higgs.
7. Introduzione alla teoria delle interazioni elettrodeboli: il gruppo di gauge SU(2) x U(1); rottura della simmetria elettrodebole ed il doppietto di Higgs; il settore bosonico del Modello Standard, accoppiamenti di gauge e del campo di Higgs; accoppiamento alla materia,

correnti deboli cariche e neutre; teorie effettive e la teoria di Fermi delle interazioni deboli.

**Modalità di esame :**

Prova scritta e prova orale

**Criteri di valutazione :**

Il superamento della prova scritta e' necessario per l'ammissione alla prova orale.

**Testi di riferimento :**

M.D. Schwartz, Quantum Field Theory and the Standard Model. : Cambridge University Press, 2014

M.E. Peskin, D.V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory. : Addison-Wesley Publishing Company,

F. Mandl and G. Shaw, Quantum Field Theory. : Wiley,

## INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI SISTEMI A MOLTI CORPI

(Titolare: Prof. PIER LUIGI SILVESTRELLI) - Mutuato da: Laurea magistrale in Fisica (Ord. 2014)

**Periodo:** I anno, 2 semestre

**Indirizzo formativo:** Sperimentale

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Metodi Matematici

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Il corso si propone di illustrare le tecniche, fondate sulla teoria quantistica dei campi non relativistici, che permettono di determinare il comportamento meccanico-statistico-quantistico della materia.

**Contenuti :**

Formalismo della seconda quantizzazione.

Operatori di particella singola e doppia in seconda quantizzazione.

L'hamiltoniano dei sistemi coulombiani.

Funzioni di Green a due punti: valore medio di un operatore di particella

singola, energia dello stato fondamentale, rappresentazione di Lehmann.

Teorema adiabatico e determinazione perturbativa dello stato fondamentale.

Teorema di Wick e grafici di Feynman per i sistemi fermionici a  $T=0$ .

Self-energia, grafici di polarizzazione (interazione efficace),

equazioni di Dyson.

Energia dello stato fondamentale del gas di elettroni degeneri

("jellium" model) nella ring approximation (RPA).

Teoria della risposta lineare; applicazioni:

schermaggio della carica elettrica (oscillazioni di Friedel),

oscillazioni di plasma, sezione d'urto differenziale per lo

scattering anelastico di elettroni (cenni).

Sistemi Bosonici interagenti a  $T=0$  (cenni).

Funzioni di Green a temperatura finita: teorema di Wick Matsubara e

relativi grafici di Feynman.

**Modalità di esame :**

Orale piÃ¹ eventuali esercizi in itinere.

**Criteri di valutazione :**

Conoscenze teoriche di base e capacità di applicazione del formalismo in casi di interesse fisico.

**Testi di riferimento :**

A.L. Fetter, J.D. Walecka, Quantum theory of many-particle system. New-York: McGraw-Hill,

## INTRODUZIONE ALLE ATTIVITÀ DI RICERCA AVANZATE

(Titolare: Prof. ALBERTO CARNERA)

**Periodo:** I anno, 2 semestre

**Indirizzo formativo:** Sperimentale

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Nessuno

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Lo studente, partecipando ad uno stage nel periodo estivo presso gruppi di ricerca operanti nel Dipartimento o in Laboratori di ricerca di Enti di Ricerca convenzionati con il Dipartimento o presso laboratori in ambito industriale. Nel corso dello stage lo studente si familiarizzerÃ con le modalità organizzative tipiche della ricerca che si svolge anche in ambienti estremamente complessi. AcquisirÃ inoltre competenze tecnico/scientifiche caratteristiche dell'attività di stage scelta.

**Contenuti :**

Lo studente svolgerÃ un'attività di stage per la durata tipica di un mese nel periodo estivo. Lo studente potrÃ scegliere tra le proposte di stage che ogni anno vengono pubblicate sul sito del Corso di Studi.

Le proposte potranno riguardare attività sia di tipo teorico che sperimentali da svolgersi sotto la supervisione di un tutor presso gruppi di ricerca del Dipartimento o degli Enti convenzionati con il Dipartimento o presso laboratori anche privati che garantiscano adeguate garanzie di livello scientifico/tecnico.

**Modalità di esame :**

L'esame sarÃ costituito dalla presentazione e dalla discussione di un report sulla attività svolta, in presenza del titolare dell'insegnamento e del responsabile dell'attività di stage.

**Criteri di valutazione :**

Si valuterà la capacità dello studente di esporre in maniera sintetica, coerente e rigorosa l'attività svolta e di discutere il contesto scientifico in cui si è collocata.

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

## LABORATORIO DI FISICA AVANZATO A

---

(Titolare: Prof. GIAMPAOLO MISTURA)

**Periodo:** 1 anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Sperimentale  
**Tipologie didattiche:** 16A+32L; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Laboratori degli anni precedenti e conoscenze di base di elettronica e ottica.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Capacità di progettare e realizzare autonomamente un apparato sperimentale di misura. Capacità di analizzare criticamente i risultati per individuare possibili cause di errori sistematici. Capacità di utilizzare le conoscenze acquisite nel percorso di studi per analizzare i dati e ottenere una misura affidabile di una data grandezza fisica.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Il corso ha un carattere prettamente sperimentale. Gli studenti partecipanti saranno ripartiti in gruppi da 2 - 3 persone ai quali sarà affidata la realizzazione di una esperienza di fisica da scegliere a piacere fra quattro tipologie di esperimenti: elettronica, ottica, fisica delle particelle, fisica nucleare e fisica dello stato solido. Sono previste anche delle lezioni frontali nelle quali verranno dati elementi generali di fisica sperimentale.

**Contenuti :**

Tecniche generali di fisica sperimentale moderna. In particolare saranno approfonditi elementi di elettronica, ottica, criogenia e tecnica del vuoto.

**Modalità di esame :**

Relazione scritta ed esame orale.

**Criteri di valutazione :**

Autonomia nello svolgimento dell'esperienza, capacità di analisi critica dei risultati. Saranno inoltre valutate positivamente soluzioni originali proposte dallo studente al fine di condurre o migliorare le esperienze proposte.

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Dispense scritte dai responsabili del corso scaricabili dal web.

## LABORATORIO DI FISICA AVANZATO B

---

(Titolare: Prof. GIAMPAOLO MISTURA)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Sperimentale  
**Tipologie didattiche:** 16A+32L; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Laboratori degli anni precedenti e conoscenze di base di elettronica e ottica.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Capacità di progettare e realizzare autonomamente un apparato sperimentale di misura. Capacità di analizzare criticamente i risultati per individuare possibili cause di errori sistematici. Capacità di utilizzare le conoscenze acquisite nel percorso di studi per analizzare i dati e ottenere una misura affidabile di una data grandezza fisica.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Il corso ha un carattere prettamente pratico. Gli studenti partecipanti saranno ripartiti in gruppi da 2 - 3 persone ai quali sarà affidata la realizzazione di una esperienza di fisica da scegliere a piacere fra quattro tipologie di esperimenti: elettronica, ottica, fisica delle particelle, fisica nucleare e dello stato solido. Sono previste anche delle lezioni frontali nelle quali verranno dati elementi generali di fisica sperimentale.

**Contenuti :**

Tecniche generali di fisica sperimentale moderna. In particolare saranno approfonditi elementi di elettronica, ottica, criogenia e tecnica del vuoto.

**Modalità di esame :**

Relazione scritta ed esame orale.

**Criteri di valutazione :**

Autonomia nello svolgimento dell'esperienza, capacità di analisi critica dei risultati. Saranno inoltre valutate positivamente soluzioni originali proposte dallo studente al fine di condurre o migliorare le esperienze proposte.

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**  
Dispense dei relatori disponibili sul web.

---

## Curriculum: Teorico e Modellistico

---

### INTRODUZIONE ALL'ELETTRODINAMICA QUANTISTICA

(Titolare: Prof. PIERPAOLO MASTROLIA)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Teorico e Modellistico  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Come interagiscono le particelle.  
Diagrammi di Feynman, Ampiezze di scattering, Sezioni d'urto.  
Correzioni Radiative e Rinormalizzazione.  
Teorie di gauge Abeliene e non-Abeliene.  
Unificazione Elettrodebole e Meccanismo di Higgs.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali ed esercizi

**Contenuti :**

Programma:

1. Elettrodinamica Quantistica: regole di Feynman; processi di scattering a livello di albero; diffusione di Rutherford e di Compton.
2. Introduzione alla Rinormalizzazione ed alla Regolarizzazione: i parametri di Feynman; "hard cut-off"; regolarizzazione dimensionale.
3. Esempi di calcoli ad 1 loop in QED: auto-energia del fotone; auto-energia dell'elettrone ed il polo di massa; il momento magnetico anomalo dell'elettrone.
4. Teoria delle perturbazioni rinormalizzata: controtermini; funzioni a due e tre punti; condizioni di rinormalizzazione; identità di Ward, disaccoppiamento della polarizzazione scalare del fotone; gli accoppiamenti "running".
5. Simmetrie di gauge non abeliane: derivate covarianti e "field strengths", termini cinetici per i campi di gauge; la teoria di gauge SU(2); la Lagrangiana di materia; regole di Feynman; vettore di gauge massiccio.
6. Rottura spontanea della simmetria: rottura di una simmetria discreta; rottura spontanea di una simmetria U(1) globale; teorema di Goldstone; il meccanismo di Higgs.
7. Introduzione alla teoria delle interazioni elettrodeboli: il gruppo di gauge SU(2) x U(1); rottura della simmetria elettrodebole ed il doppietto di Higgs; il settore bosonico del Modello Standard, accoppiamenti di gauge e del campo di Higgs; accoppiamento alla materia, correnti deboli cariche e neutre; teorie effettive e la teoria di Fermi delle interazioni deboli.

**Modalità di esame :**

Prova scritta e prova orale

**Criteri di valutazione :**

Il superamento della prova scritta e' necessario per l'ammissione alla prova orale.

**Testi di riferimento :**

M.D. Schwartz, Quantum Field Theory and the Standard Model. : Cambridge University Press, 2014  
M.E. Peskin, D.V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory. : Addison-Wesley Publishing Company,  
F. Mandl and G. Shaw, Quantum Field Theory. : Wiley,

---

### INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI SISTEMI A MOLTI CORPI

(Titolare: Prof. PIER LUIGI SILVESTRELLI)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Teorico e Modellistico  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Metodi Matematici

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Il corso si propone di illustrare le tecniche, fondate sulla teoria quantistica dei campi non relativistici, che permettono di determinare il comportamento meccanico-statistico-quantistico della materia.

**Contenuti :**

Formalismo della seconda quantizzazione.  
Operatori di particella singola e doppia in seconda quantizzazione.  
L'hamiltoniano dei sistemi coulombiani.



Funzioni di Green a due punti: valore medio di un operatore di particella singola, energia dello stato fondamentale, rappresentazione di Lehmann. Teorema adiabatico e determinazione perturbativa dello stato fondamentale. Teorema di Wick e grafici di Feynman per i sistemi fermionici a  $T=0$ . Self-energia, grafici di polarizzazione (interazione efficace), equazioni di Dyson.

Energia dello stato fondamentale del gas di elettroni degeneri ("jellium" model) nella ring approximation (RPA).

Teoria della risposta lineare; applicazioni: schermaggio della carica elettrica (oscillazioni di Friedel), oscillazioni di plasma, sezione d'urto differenziale per lo scattering anelastico di elettroni (cenni).

Sistemi Bosonici interagenti a  $T=0$  (cenni).

Funzioni di Green a temperatura finita: teorema di Wick Matsubara e relativi grafici di Feynman.

**Modalità di esame :**

Orale piÃ¹ eventuali esercizi in itinere.

**Criteri di valutazione :**

Conoscenze teoriche di base e capacità di applicazione del formalismo in casi di interesse fisico.

**Testi di riferimento :**

A.L. Fetter, J.D. Walecka, Quantum theory of many-particle system. New-York: McGraw-Hill,

## MECCANICA HAMILTONIANA

(Titolare: Prof. ANTONIO PONNO)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Teorico e Modellistico  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Conoscenze della meccanica hamiltoniana di base, a livello del corso di meccanica analitica (terzo anno, laurea in fisica).

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Lo studente, al superamento della prova di profitto, avrà acquisito conoscenze tali da metterlo in grado di comprendere alcuni articoli originali sugli argomenti trattati nel corso.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Il corso viene erogato tramite lezioni frontali alla lavagna.

**Contenuti :**

- SISTEMI HAMILTONIANI.

Proprietà generali. Strutture di Poisson ed estensione del formalismo canonico. Elementi di teoria Hamiltoniana delle perturbazioni: principio della media.

Formalismo lagrangiano e hamiltoniano per sistemi infinito-dimensionali. Equazioni alle derivate parziali lineari e non lineari di interesse per la fisica.

- APPROCCIO PROBABILISTICO.

Fondamenti dinamici della meccanica statistica.

Problema ergodico. Caratterizzazione dei sistemi ergodici e dei sistemi mescolanti. Ricorrenza. Equazione di Liouville e sue proprietà. Equazioni stocastiche di tipo Langevin ed equazione di Fokker-Planck.

Deduzione della legge di Gibbs.

**Modalità di esame :**

Esame scritto sul programma del corso.

**Criteri di valutazione :**

La valutazione dello studente si baserà sulla verifica di comprensione degli argomenti "astratti" e sulla conseguente capacità di risolvere eventuali esercizi.

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Le dispense del docente coprono la maggior parte degli argomenti trattati a lezione.

## RELATIVITÀ GENERALE

(Titolare: Prof. GIANGUIDO DALL'AGATA)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Teorico e Modellistico  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Si consiglia Fisica Teorica.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Il corso fornisce una introduzione alle basi teoriche e fenomenologiche della Relatività Generale. Lo studente dovrà anche appropriarsi

delle tecniche di base per costruire e studiare le proprietà delle soluzioni delle equazioni di Einstein.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali. Esercitazioni settimanali.

**Contenuti :**

Geometria Riemanniana; Forme differenziali; Il principio di equivalenza; Equazioni di Einstein; Soluzione di Schwarzschild, limite Newtoniano; test sperimentali; spazi massimamente simmetrici; Buchi neri (Diagrammi di Penrose, buchi neri carichi e rotanti); Termodinamica dei buchi neri.

**Modalità di esame :**

Orale con domande su argomenti svolti a lezione e soluzione di un problema.

**Criteri di valutazione :**

Conoscenza e comprensione dei contenuti del corso, abilità nella soluzione di problemi elementari legati ai contenuti del corso.

**Testi di riferimento :**

S. Carroll, *Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity*. : Addison-Wesley, 2003

F. de Felice, C.J.S. Clarke,, *Relativity on curved manifolds*. : Cambridge University Press, 1992

S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology*™. : Wiley, 1972

A. Zee, *Einstein Gravity in a Nutshell*. : Princeton University Press, 2013