



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



## Bollettino Notiziario - A.A. 2017/2018

### Curriculum: Corsi comuni

### COSMOLOGIA DELL'UNIVERSO PRIMORDIALE

**Titolare:** Prof. NICOLA BARTOLO

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**Prerequisiti:**

Istituzioni di Astrofisica e Cosmologia (equivalentemente "The Physical Universe")

**Conoscenze e abilità da acquisire:**

Scopo del corso è 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.

**Attività 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 densità 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 densità primordiali; generazione di onde gravitazionali primordiali e loro osservabilità. - Formalismo delta-N (e formalismo in-in) per lo studio delle perturbazioni cosmologiche; esempio di applicazione: non-Gaussianità primordiale. - Fase di reheating e meccanismi di bariogenesi Perturbazioni cosmologiche in relatività 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

**Modalità di esame:**

Esame orale

**Criteri di valutazione:**

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

**Testi di riferimento:**

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

**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

**Prerequisiti:**

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

**Conoscenze e abilità 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 è fornire una visione di insieme di queste discipline attraverso un'introduzione dei Modelli Standard cosmologico e delle particelle elementari.

**Attività 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 proprietà; 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  $(V-A) \times (V-A)$ ; 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'inflatone; 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.

**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 DEI FLUIDI E DEI PLASMI**

**Titolare:** Dott. TOMMASO BOLZONELLA

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**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 ed 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 capacità 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

**Prerequisiti:**

Conoscenza di base della fisica quantistica e dello stato solido.

**Conoscenze e abilità da acquisire:**

Conoscenze: principi fisici alla base del comportamento dei materiali semiconduttori. L'obiettivo del corso è 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'abilità 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....).

**Attività 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 attività 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 specificità della struttura a bande dei semiconduttori. 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 degenero, 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 mobilità in un semiconduttore. I meccanismi di generazione e ricombinazione in un semiconduttore. L'equazione di continuità. 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. Le architetture dei laser a stato solido, l'effetto del confinamento quantistico sulle performance di un laser. 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.

**Modalità di esame:**

Esame orale. Durante il semestre sarà 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: -le capacità di esporre una o più delle teorie di base che spiegano il comportamento fisico dei semiconduttori. - la comprensione del principio di funzionamento di uno o più dispositivi a semiconduttore spiegati nel corso. - la capacità di comprendere la struttura a bande e il comportamento elettrico di una semplice struttura contenente semiconduttori drogati, metalli e isolanti.

**Testi di riferimento:**

Sapoval, Physics of semiconductors. : Springer Verlag, Singh, Electronic and Optoelectronic Properties of Semiconductor Structures. : Cambridge, 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

**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. Simmetrie continue e transizione di Kosterlitz e Thouless. 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

**Prerequisiti:**

Conoscenza dei principi dell'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.

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

Il corso consisterà principalmente di lezioni tradizionali. E' prevista una sessione di operazione remota di un piccolo esperimento di tipo tokamak.

**Contenuti:**

Prima parte: 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. La configurazione 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 orbite 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. 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 SUBNUCLEARE**

**Titolare:** Prof. RICCARDO BRUGNERA

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**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 abilità 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 avrà 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.

**Attività 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 proprietà del quark top e dei bosoni vettori. Matrice CKM ===== Gerarchia dei parametri, parametrizzazione originale e sviluppo di Wolfenstein. Triangolo di Unitarietà. 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.

**Modalità di esame:**

Orale

**Criteri di valutazione:**

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

**Testi di riferimento:**

C. Giunti and C.W. Kim, Fundamentals of Neutrino Physics and Astrophysics. : Oxford University Press, 2007 R.K. Ellis, W.J. Stirling and B.R. Webber, QCD and Collider Physics. : Cambridge University 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

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio:**

Durante il corso verranno forniti agli studenti ulteriori informazioni bibliografiche su specifici argomenti.

**MICROSCOPIA OTTICA**

**Titolare:** Dott. STEFANO BONORA

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**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

**PROVA FINALE**

**Titolare:** da definire

**Periodo:** Il anno, 2 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

Tipologie didattiche: ; 42,00

## RADIOATTIVITA' E MISURE NUCLEARI

**Titolare:** Prof. MARCO MAZZOCCO

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**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 "ISOL" e "IN-FLIGHT": Reazioni con fasci secondari ISOL: Eccitazione coulombiana, trasferimento di 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.

**Criteri di valutazione:**

Preparazione dello studente. Chiarezza espositiva. Livello di approfondimento personale.

**Testi di riferimento:**

Krane, Kenneth S., Introductory nuclear physics Kenneth S. Krane. Hoboken: NJ, Wiley, 1987 Knoll, Glenn F., Radiation detection and measurement Glenn F. Knoll. New York etc.: Wiley & Sons, 0

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio:**

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

## TEORIA DEI CAMPI 2

**Titolare:** Prof. KURT LECHNER

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**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 e' la quantizzazione delle teorie di gauge non abeliane e la loro rinormalizzazione perturbativa. Scopo del corso e', 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 e' 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:**

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  
 Lewis H. Ryder, Quantum Field Theory. Cambridge: Cambridge University Press, 1996  
 John C. Collins, Renormalization. Cambridge: Cambridge University Press, 1984

**TEORIA DEI SISTEMI FORTEMENTE CORRELATI**

**Titolare:** Prof. LUCA DELL'ANNA

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**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 II Parte: Applicazioni. - Gas di Coulomb ? L'approccio perturbativo ? Random Phase Approximation ? Il metodo dell'integrale funzionale - Bosoni non interagenti: condensazione di Bose-Einstein - Teorema di Goldstone - Bosoni interagenti: Superfluidità ? Lo spettro di Bogoliubov ? Criterio di Landau ? L'azione del modo di Goldstone ? Fenomenologia - Superconduttività ? Fenomenologia ed equazioni di London ? Interazione elettrone-fonone ? Il problema di Cooper ? La teoria BCS con l'integrale funzionale: la gap e la temperatura critica ? La teoria di Ginzburg-Landau ? L'azione del modo di Goldstone ? 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. PIERPAOLO MASTROLIA

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**Prerequisiti:**

Il corso richiede un buon livello di conoscenza di fisica teorica, teoria quantistica dei campi, e teoria delle interazioni fondamentali.

**Conoscenze e abilità da acquisire:**

Il corso si propone di fornire allo studente nuovi metodi di calcolo per ampiezze di scattering in teorie di gauge, e di discutere alcune applicazioni in ambito del Modello Standard.

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

Lezioni frontali ed esercizi

**Contenuti:**

- PART I: MODERN METHODS FOR SCATTERING AMPLITUDES (P. Mastrolia) 1. Unitarity, Optical Theorem, Decay Rates 2. Cutkosky Rules, the Largest Time Equation, Feynman Tree Theorem 3. The Spinor Helicity Formalism 4. On-shell recurrence relation for tree-level amplitudes 5. One-Loop integrals and Integration-by-parts Identities 6. Unitarity-based methods 7. Integrand Reduction method 8. Differential Equations for Feynman Integrals  
PART II: TOPICS IN PRECISION ELECTROWEAK PHYSICS (M. Passera) 1. Introduction to the quantum corrections: The loop expansion, UV Divergent integrals, Dimensional regularization (DR). 2. Basic loops in QED: The photon self-energy at one-loop in DR, The photon propagator, Renormalization of the electric charge, Example of cancellation of UV divergences, The effective electric charge, Mass renormalization, Wave-function renormalization for the external legs. 3. The electron-photon vertex in QED: Formal structure and one-loop expression, The Dirac and Pauli form factors  $F_1(q^2)$  and  $F_2(q^2)$ . 4. The anomalous magnetic moment of the electron: Preliminary remarks:  $g=2$ , The QED contribution, Other contributions and the determination of the fine-structure constant  $\alpha$ . 5. The anomalous magnetic moment of the muon in the full SM: The QED contribution, The hadronic contribution, The EW contribution, SM prediction vs. experiment. 6. Renormalization of the electroweak theory, Mass renormalization for unstable particles, The On-Shell scheme, The  $M_W$ - $M_Z$  relation and Sirlin's  $\Delta r$ , The  $\overline{MS}$  scheme, Introduction to the renormalization group. 7. The SM Higgs boson: Indirect limits from EW precision tests, The LHC discovery.

**Modalità di esame:**

Esame orale

**Testi di riferimento:**

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

**Curriculum: Sperimentale**

**LABORATORIO DI FISICA AVANZATO B**

**Titolare:** Prof. MARCO BAZZAN

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Sperimentale

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

**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.

