



Bollettino Notiziario - A.A. 2024/2025

**LAUREA MAGISTRALE IN ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY (ORD.
2019)**

Curriculum: Corsi comuni

ASTRO-STATISTICS AND COSMOLOGY

Titolare: Prof. MICHELE LIGUORI

Mutuato da: Laurea magistrale in Physics of Data (Ord. 2018)

Periodo: Il anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Probabilità e statistica: definizione di probabilità, distribuzioni di probabilità, valor medio, varianza e covarianza, teorema di Bayes, elementi di teoria degli estimatori statistici, maximum likelihood, intervalli di confidenza, test delle ipotesi. Cosmologia: legge di Hubble, metrica di Robertson-Walker, equazioni di Friedmann-Robertson-Walker. Perturbazioni cosmologiche: instabilità di Jeans, spettro di potenza, fattore di crescita lineare delle strutture.

Conoscenze e abilità da acquisire:

Dopo aver completato il corso lo studente dovrebbe aver acquisito una chiara comprensione dei concetti di base della statistica Bayesiana, ed essere in grado di applicarli in situazioni concrete, legate all'analisi di dataset astrofisici e cosmologici. In particolare lo studente dovrà avere acquisito competenze che gli permettono di: 1) Costruire estimatori statistici ottimali di parametri astrofisici e cosmologici in svariati contesti pratici. 2) Saper applicare algoritmi di Markov Chain Monte Carlo (MCMC) per inferenza Bayesiana, avendo padronanza di diversi metodi (ad es. Metropolis-Hastings, Gibbs sampling, Hamiltonian sampling) 3) Implementare algoritmi di Bayesian model selection in contesti concreti. 4) Affrontare problemi di experimental design e forecasting, attraverso l'uso della matrice di Fisher 5) Avere un approccio pratico al problema della stima degli errori, considerando le limitazioni e le problematiche legate ai diversi metodi statistici applicabili al problema in esame. Saper valutare l'impatto di effetti sistematici, in semplici situazioni, e produrre strategie per la loro mitigazione.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Il corso è organizzato in lezioni, il cui contenuto è presentato alla lavagna. In casi specifici si farà anche uso di trasparenze e immagini. La modalità di presentazione del corso è interattiva, con discussioni e domande in classe. Viene data enfasi alla presentazione casi studio, applicazioni e esempi concreti.

Contenuti:

Teorema di Bayes e probabilità Bayesiana. Scelta del prior. Inferenza Bayesiana e Monte Carlo Markov Chain (MCMC): Metropolis-Hastings, Gibbs sampling, Hamiltonian sampling. Joint likelihood. Parameter marginalization. Evidenza Bayesiana, model selection, confronto di modelli, criteri d'informazione. Matrice di Fisher per experimental design e forecasting. Esempi pratici: stima dello spettro di potenza in dataset cosmologici (fondo cosmico di microonde e struttura su grande scala), MCMC e stima di parametri cosmologici, separazione delle componenti, analisi dati per onde gravitazionali, Fisher matrix forecasting per future survey cosmologiche. Alcune parti del programma o scelte di esempi possono subire variazioni, in base alla composizione e alle competenze della classe.

Modalità di esame:

L'esame si svolge in due fasi: 1) Risoluzione di esercizi a casa, eventualmente da affrontare in gruppo e consegnare al docente. 2) Prova orale, con discussione sugli argomenti del corso.

Criteri di valutazione:

I criteri utilizzati per verificare le conoscenze e le competenze acquisite sono: 1) Comprensione degli argomenti trattati. 2) Capacità critica di collegare le conoscenze acquisite. 3) Completezza delle conoscenze acquisite. 4) Capacità di sintesi e chiarezza nell'esposizione delle conoscenze. 5) Comprensione ed utilizzo corretto della terminologia utilizzata. 6) Capacità di applicare i concetti teorici, le metodologie analitiche e le tecniche computazionali illustrate nel corso, al fine di risolvere problemi realistici di forecasting, analisi dati e stima di parametri in dataset astrofisici e cosmologici.

Testi di riferimento:

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Oltre ai libri di consigliati, materiale aggiuntivo di studio (note, esercizi, articoli scientifici) verrà messo a disposizione degli studenti su moodle.

ASTRONOMICAL INTERFEROMETRY

Titolare: Prof. MAURO D'ONOFRIO

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

L'insegnamento richiede la conoscenza delle trasformate di Fourier e una buona conoscenza delle nozioni di analisi matematica.

Conoscenze e abilità da acquisire:

Lo studente acquisirà le conoscenze avanzate di interferometria astronomica nell'ottico e nel radio e imparerà a ridurre i dati interferometrici ottenuti con l'Atacama Large Millimeter Array (ALMA) e il Very Large Telescope Interferometer (VLTI) dell'European Southern Observatory (ESO).

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali ed esercitazioni di riduzione dati interferometrici ottenuti con ALMA e VLTI. Le lezioni sono tenute in inglese.

Contenuti:

1) Nozioni di base di astronomia ottica e radio. 2) Telescopi ottici e radio telescopi. Risoluzione e tecniche osservative. 3) Elementi di interferometria. 4) Interferometria ottica e radio. 5) Il piano UV. 6) Sintesi di immagine in ottico e radio. 7) Elementi di disturbo e calibrazione delle osservazioni interferometriche. 8) Esercitazioni sulla riduzione dei dati interferometrici in aula informatica.

Modalità di esame:

L'esame è orale e consiste in un colloquio sugli argomenti trattati nell'insegnamento.

Criteri di valutazione:

Saranno valutate la partecipazione e l'impegno profuso durante le lezioni, la completezza delle conoscenze acquisite, la proprietà di linguaggio, la capacità di analisi e interpretazione dei dati interferometrici.

Testi di riferimento:

Thompson, A. Richard; Moran, James M.; Swenson Jr, George W., Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy. Berlin: Springer International Publishing, 2017

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Dispense e presentazioni PowerPoint delle lezioni fornite dal docente attraverso il sito Moodle dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://elearning.unipd.it/dfa/>). Il testo di riferimento può essere consultato presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

ASTRONOMICAL SPECTROSCOPY

Titolare: Prof. STEFANO CIROI

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Conoscenze di base di Fisica atomica, Astronomia, Astrofisica 1 e 2, Laboratorio di Astronomia.

Conoscenze e abilità da acquisire:

L'insegnamento prevede che lo studente acquisisca i concetti fondamentali e indispensabili per la comprensione dei processi fisici che portano alla formazione dello spettro a righe d'emissione. Tali concetti sono il prerequisito per l'analisi e la successiva interpretazione di uno spettro emesso da una regione H II e trovano applicazione in numerosi settori dell'astrofisica osservativa: stelle a righe d'emissione, nebulose gassose, regioni di formazione stellare e nuclei galattici attivi. E' inclusa nel corso una sezione relativa alle righe in assorbimento.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

L'insegnamento prevede lezioni frontali in aula che includono spiegazioni alla lavagna per la parte teorica e videoproiezioni per mostrare i dati osservativi e il tipo di analisi che si effettua sugli stessi. Le lezioni sono tenute in inglese.

Contenuti:

1) Breve introduzione alla spettroscopia come tecnica osservativa. 2) Caratteristiche di spettri a righe d'emissione: nebulose gassose, Novae, Supernovae, Resti di Supernova, regioni di formazione stellare, nuclei galattici attivi. 3) Fondamenti di spettroscopia atomica: termini spettroscopici, livelli di energia, diagrammi di Grotrian e regole di selezione. 4) Popolazione dei livelli di energia: equazioni di Boltzmann e Saha, applicazioni ad alcune specie atomiche e confronto con le righe di assorbimento negli spettri stellari. 5) Trasporto radiativo. 6) Righe di assorbimento e principali meccanismi di allargamento. 7) Righe di emissione: transizioni collisionali, equazioni dell'equilibrio statistico, atomo a due livelli, righe di ricombinazione otticamente sottili, estinzione da polveri, righe proibite, atomo a tre livelli. 8) Meccanismi di emissione del continuo: ricombinazione, free-free, sincrotrone. 9) Equilibrio di ionizzazione. 10) Struttura di ionizzazione: la sfera di Stromgren. 11) Equilibrio termico.

Modalità di esame:

Esame orale sugli argomenti trattati a lezione.

Criteri di valutazione:

La valutazione dell'esame sarà basata sui seguenti criteri: 1) completezza delle conoscenze acquisite; 2) grado di comprensione raggiunto dallo studente; l'esame orale non sarà una semplice esposizione degli argomenti richiesti, ma un colloquio attivo con il docente; l'esame scritto proposto in alternativa per gli studenti stranieri consisterà in domande specifiche che richiedono risposte approfondite e dettagliate; 3) capacità di seguire ragionamenti proposti dal docente durante il colloquio; quest'ultimo criterio valido per l'esame orale verrà utilizzato solo come valore aggiunto per la valutazione finale.

Testi di riferimento:

Emerson, Donald S., Interpreting astronomical spectra. Chichester: J. Wiley and sons, 1996
Aller, Lawrence Hugh, Physics of thermal gaseous nebulae: physical processes in gaseous nebulae by Lawrence H. Aller. Dordrecht: Reidel, 0 Osterbrock, Donald E.; Ferland, Gary, Astrophysics of gaseous nebulae and active galactic nuclei Donald E. Osterbrock, Gary J. Ferland. Sausalito: CA, University Science Books, 0 Spitzer, Lyman, Physical processes in the interstellar medium rivista elettronica Lyman Spitzer, Jr.. New York: Wiley, 2004

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Dispense manoscritte dal docente fornite attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://elearning.unipd.it/dfa/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

ASTROPARTICLE PHYSICS

Titolare: Prof. ANTONIO MASIERO

Periodo: 1 anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

A parte le nozioni di Relatività e Meccanica Quantistica acquisite nel corso della laurea triennale, il presente corso è autoconsistente in quanto le necessarie nozioni di base di meccanica quantistica relativistica, teoria dei campi e delle particelle elementari, e di cosmologia verranno fornite durante il corso stesso.

Conoscenze e abilità da acquisire:

Nella sua prima parte, il corso intende fornire una concisa, eppur approfondita e critica, presentazione e discussione delle due teorie che descrivono con successo l'universo dalle sue scale di lunghezze più piccole (micro-cosmo) a quelle più grandi (macro-cosmo), ovvero, rispettivamente, del Modello Standard particellare e di quello cosmologico. La comprensione delle prime fasi del nostro Universo (sino ai primi minuti dopo il Big Bang) porterà ad acquisire conoscenze e competenze che si estendono dalla cosmologia ed astrofisica alla fisica delle particelle elementari, il campo di ricerca oggi definito Fisica Astroparticellare. Scopo principale del corso è mostrare come la connessione tra questi campi di studio porti a fertili e sinergici risultati nello studio dei maggiori problemi aperti del campo astroparticellare: massa dei neutrini, materia oscura, energia oscura, asimmetria cosmica tra materia ed antimateria, inflazione primordiale.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali in inglese.

Contenuti:

1) INTRODUZIONE: Universo osservabile e sua espansione, materia oscura, resti del Big Bang. 2) MECCANICA QUANTISTICA RELATIVISTICA: equazioni di Dirac e Klein-Gordon; antiparticelle e loro proprietà; simmetrie discrete: P, T, C e 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: elettrodinamica quantistica QED; elementi di teoria dello scattering tra particelle elementari: matrice S, 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: 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; violazione di CP; conservazione dei numeri barionico e leptonico; scoperta del bosone di Higgs ad LHC. 6) FISICA DEL NEUTRINO: masse di Dirac e Majorana; meccanismo see-saw; neutrini massivi nello SM; oscillazione dei neutrini nel vuoto e nella materia; 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): SSB e gerarchia di Gauge, unificazione delle costanti di accoppiamento, decadimento del protone. 8) Richiami di RELATIVITÀ GENERALE: principio di equivalenza; spazio-tempo curvo; tensore energia-impulso; equazioni di Einstein, soluzione di Schwarzschild. 9) Elementi del MODELLO COSMOLOGICO STANDARD e suo interplay col Modello Standard delle particelle elementari e le loro interazioni fondamentali; 10) TERMODINAMICA DELL'UNIVERSO PRIMORDIALE: equilibrio termodinamico; entropia; temperature di disaccoppiamento. 11) MATERIA OSCURA (MO): evidenze osservative; equazione di Boltzmann; MO fredda 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) Alcuni elementi sul legame tra unificazione delle interazioni fondamentali ed INFLAZIONE primordiale: problemi dell'orizzonte, della piattezza e del tempo di vita dell'Universo 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); 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; Bergstrom, Lars, Cosmology and particle astrophysics. Chichester [etc: Wiley published in association with Praxis publishing, 1999
Gorbunov, Dmitry S.; Rubakov, Valery, Introduction to the theory of the early universe hot big bang theory. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2018
Kolb, Edward W.; Turner, Michael; Kolb, Edward W., The Early Universe. New York: Westview Press, 1994
Peskin, Michael E., Concepts of elementary particle physics. Oxford New York: Oxford University Press, 2019
Perkins, Donald H.; Perkins, Donald H., Particle astrophysics. Oxford: Oxford University Press, 2003
Stefano Profumo, An Introduction to Particle Dark Matter. London: World Scientific Publishing Europe, 2017

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Verranno fornite agli studenti note su tutti gli argomenti del corso e, man mano che si procede nel corso, verranno indicati i testi di riferimento più adeguati per lo studio dei temi trattati. Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

ASTROPHYSICS LABORATORY 1: HIGH ENERGY INSTRUMENTATION

Titolare: Prof. STEFANO CIROI

Periodo: I anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: +48E; 6,00

Prerequisiti:

Conoscenza di astronomia e/o fisica a livello di laurea triennale

Conoscenze e abilità da acquisire:

La/Lo studentessa/studente apprenderà le basi dell'astrofisica osservativa delle alte energie che comprendono i meccanismi di radiazione e le caratteristiche di telescopi e strumenti. L'esperienza in laboratorio, fatta in gruppi di due o tre studenti/studentesse, permetterà agli/alle stessi/stesse di analizzare osservazioni alle alte energie compiute da telescopi spaziali. Gli/Le studenti/studentesse condurranno un'effettiva esperienza di ricerca scientifica analizzando immagini e spettri.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali ed esercitazioni con l'uso di lavagna e presentazioni PowerPoint. Le lezioni sono tenute in inglese.

Contenuti:

1. Radiazione elettromagnetica, definizioni fondamentali 2. Telescopi a raggi X 3. Rilevatori di raggi X 4. Astrostatistica, concetto di verosimiglianza e rapporto segnale/rumore 5. Processi radiativi 6. Dischi di accrescimento, stelle di neutroni, novae, AGN 7. Dati X 8. Pratica con l'analisi dei dati SWIFT

Modalità di esame:

L'esame orale verterà sugli argomenti trattati a lezione e sul report di una osservazione alle alte energie analizzata dal gruppo durante l'esperienza in laboratorio.

Criteri di valutazione:

La valutazione della performance degli/delle studenti/studentesse si baserà sull'esame orale che comprende anche il report dell'osservazione, analizzata in laboratorio, alle alte energie.

Testi di riferimento:

Longair, M. S., High Energy Astrophysics. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 0

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). Il testo di riferimento può essere consultato presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

ASTROPHYSICS LABORATORY 1: INFRARED AND OPTICAL INSTRUMENTATION

Titolare: Prof. ROBERTO RAGAZZONI

Periodo: I anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Conoscenze di base di Fisica e Astronomia.

Conoscenze e abilità da acquisire:

L'insegnamento fornisce le conoscenze teoriche e tecnologiche utili a realizzare telescopi e strumentazione astronomica allo stato dell'arte operanti da terra e dallo spazio in particolare nelle bande visibile e infrarossa dello spettro elettromagnetico. Modalità di esame: Esame orale sui contenuti dell'insegnamento discussi a lezione.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni con l'uso di lavagna e presentazioni PowerPoint. Esperimenti in laboratorio di ottica. Osservazioni notturne al telescopio presso l'Osservatorio Astronomico di Asiago per verificare alcune delle esperienze condotte in laboratorio. Le lezioni sono tenute in inglese.

Contenuti:

1) Ottica di base e sistemi ottici: Riassunto dei principi base dell'ottica e della formazione dell'immagine. Natura della luce e geometria delle lenti sottili e delle sezioni coniche. Concetto di immagine stigmatica e non stigmatica. Copie ottiche e invariante di Lagrange. Importanza della posizione e della dimensione dello stop in un sistema ottico ed relativi effetti sulle proprietà ottiche dell'intero sistema. 2) Telescopi a due specchi: Configurazioni Schwarzschild, Cassegrain, Gregorian e Ritchey-Chretienne. Il problema del fondo per le immagini astronomiche, in particolare nell'infrarosso. Definizione delle porzioni termica e non termica dello spettro infrarosso. Vignettamento e campo di vista nei telescopi di tipo Cassegrain. Sovradimensionamento e sottodimensionamento dello specchio secondario allo scopo di evitare il background termico prodotto dal suolo. Collimazione e re-imaging della pupilla. Differenza fra immagini prodotte da specchi parabolici e sferici e nel caso di uno schema tipo Arcibo. Esempi di telescopi e strumentazione che applica i

diversi concetti studiati. 3) Ottica attiva e adattiva: Definizioni base, turbolenza atmosferica, spettro di Kolmogorov, angolo isoplanatico, parametro di Fried, frequenza di Greenwood Concetto di loop aperto e loop chiuso. Effetti su specchi deformabili e sensori di fronte d'onda. Sensore a quattro quadranti, sensibilità ed effetto del rumore Poissoniano. Sensori per la misura degli alti ordini di aberrazione: sensore di Shack-Hartman, sensore a piramide e sensore a curvatura. Concetto di ottica adattiva multiconiugata. Approcci 'star' e 'layer oriented'. Concetto di ottica adattiva con campi di vista multipli. Specchi deformabili. 4) Rivelatori: Charge Coupled Devices Detectors, principi di funzionamento e parametri base. Efficienza quantica, trasferimento di carica, rumore di lettura. Effetti sul rumore Poissoniano apparente. Concetto di L3CCD. 5) Esperienze in laboratorio di ottica: Esperienza dello spot di Poisson. Simulazione di turbolenza e formazione delle speckles. 6) Esperienza al telescopio Galileo di Asiago: Interferometria speckle allo scopo di aumentare la risoluzione nel caso di stelle binarie non risolte a causa della turbolenza atmosferica.

Modalità di esame:

Esame scritto sui contenuti dell'insegnamento discussi a lezione.

Criteri di valutazione:

Lo studente dovrà dimostrare proprietà di linguaggio, piena conoscenza del programma dell'insegnamento, capacità di ragionamento nel collegare i diversi argomenti trattati a lezione, negli esperimenti in laboratorio di ottica e nelle osservazioni al telescopio e capacità critica nell'applicare le conoscenze acquisite.

Testi di riferimento:

CONTENUTO NON PRESENTE

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Dipense del docente e articoli scientifici specifici forniti attraverso il sito Moodle dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://elearning.unipd.it/dfa/>).

ASTROPHYSICS OF THE INTERSTELLAR MEDIUM

Titolare: Prof. GIOVANNI CARRARO

Periodo: Il anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

La comprensione delle lezioni richiede la conoscenza della fisica generale (in particolare fluidodinamica, termodinamica ed elettromagnetismo) e delle nozioni di base dell'astrofisica e della spettroscopia

Conoscenze e abilità da acquisire:

L'insegnamento si propone di fornire le conoscenze atte alla interpretazione dei fenomeni radiativi e dinamici del mezzo interstellare. La seconda parte dell'insegnamento riguarda le conoscenze di base della fluidodinamica e della magnetofluidodinamica.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali ed esercitazioni su dati osservativi. Le lezioni sono tenute in inglese.

Contenuti:

1) Introduzione. 2) Equazioni della fluidodinamica, turbolenza, equilibrio termico nel mezzo interstellare. 3) Onde di shock, problema di Riemann. 4) Magnetofluidodinamica, onde di Alfvén, Campo magnetico galattico, teorema del virale generalizzato, diffusione ambipolare. 5) Soluzione numerica delle equazioni dell'idrodinamica (metodi euleriani vs metodi lagrangiani). 6) Il mezzo interstellare e i suoi traccianti: H_I, CO, H₂, molecole. 7) Teoria della formazione stellare, criterio di Jeans, formazione stellare sequenziale 8) Regioni HII, sfera di Stroemgren. 9) Venti stellari e resti di supernove. 10) Evoluzione chimica del mezzo interstellare.

Modalità di esame:

La verifica del profitto avrà luogo mediante un colloquio, eventualmente integrato con la discussione di un elaborato facoltativo prodotto dallo studente su un argomento trattato durante le lezioni e concordato con il docente.

Criteri di valutazione:

Verifica della conoscenze relative agli argomenti trattati durante le lezioni e le esercitazioni, della proprietà di linguaggio, della capacità di ragionare con i concetti acquisiti durante l'insegnamento in modo autonomo e critico.

Testi di riferimento:

Carraro, Giovanni, Astrophysics of the Interstellar Medium. : Unitext for Physics, Springer, 2021

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). Il testo di riferimento può essere consultato presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

CELESTIAL MECHANICS

Titolare: Dott. STEFANO CASOTTO

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Lo studente deve conoscere i fondamenti della Meccanica Razionale e dell'Analisi Matematica, inclusa la teoria elementare delle Equazioni Differenziali Ordinarie. Aiuta una buona dose di curiosità relativamente ai fenomeni dinamici osservati nel Sistema Solare e in sistemi planetari in generale, unitamente

ad un interesse per la loro modellistica precisa ed il calcolo e il progetto di missioni di esplorazione planetaria.

Conoscenze e abilità da acquisire:

1) Sviluppare la comprensione dei fenomeni dinamici nei sistemi gravitazionali. 2) Applicazione della Meccanica Newtoniana alla soluzione dei problemi fondamentali della Meccanica Celeste dei corpi naturali e artificiali. 3) Soluzione dei Problemi Inversi con applicazione alla Determinazione delle Orbite. 4) Introduzione alla progettazione di orbite per l'esplorazione planetaria ed interplanetaria. 5) Sviluppo di codici di calcolo numerico in Matlab (o linguaggi compilati), inclusa l'integrazione numerica delle equazioni del moto di sistemi gravitanti. 6) Introduzione all'uso del sistema di simulazione General Mission Analysis Tool (GMAT).

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali, assegnazione di compiti per casa, sviluppo di codice di calcolo in Matlab (Fortran, C++), attività in laboratorio informatico, studio e analisi di argomenti speciali durante il progetto finale. Le lezioni sono tenute in lingua inglese.

Contenuti:

1) Le equazioni del moto dei sistemi gravitanti. 2) Il Problema dei Due Corpi come problema ai valori iniziali (IVP). 3) Il Problema dei Due Corpi come problema ai limiti (BVP). 4) Manovre orbitali. 5) Sistemi di riferimento spaziali e temporali. 6) Il calcolo delle effemeridi kepleriane. 7) Determinazione preliminare delle orbite (IOD). 8) Moto relativo kepleriano e sua generalizzazione. 9) Regolarizzazione e formulazione del Problema dei Due Corpi in variabili universali. 10) Il Problema dei Due Corpi BVP e il Lambert targeting. 11) Il Problema dei Tre Corpi e le soluzioni omografiche. 12) Il Problema Ristretto Circolare dei Tre Corpi - L'integrale di Jacobi, superfici di velocità nulla, punti lagrangiani, stabilità, orbite periodiche e loro calcolo. 13) La teoria delle coniche raccordate e le traiettorie interplanetarie con assistenza gravitazionale. 14) Elementi della teoria delle perturbazioni e il moto di un satellite artificiale terrestre.

Modalità di esame:

Valutazione dei compiti per casa, del progetto finale con presentazione orale del rapporto finale e discussione sui risultati del progetto e altri argomenti trattati a lezione.

Criteri di valutazione:

La conoscenza degli argomenti dell'insegnamento, la proprietà di linguaggio e la capacità di discutere e collegare insieme più argomenti saranno valutati con: 1) Compiti per casa (40% del voto finale). 2) Progetto finale e presentazione (30% del voto finale). 3) Esame finale orale al momento della presentazione del progetto finale (30% del voto finale).

Testi di riferimento:

Curtis, Howard D., *Orbital mechanics for engineering students*. Amsterdam: Elsevier Butterworth Heinemann, 2013 Murray, Carl D.; Dermott, Stamòey F., *Solar System Dynamics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000 Roy, Archie Edmiston, *Orbital motion*. New York: Taylor & Francis, 2005 Vallado, David A.; McClain, Wayne D., *Fundamentals of astrodynamics and applications*. Hawthorne: CA: Microcosm press, 2007 Danby, John M. Anthony, *Fundamentals of celestial mechanics*. Richmond: Willmann-Bell, 1988 Cordani, B., *I cieli in una stanza. Una storia della Meccanica Celeste dagli epici di Tolomeo ai tori di Kologorov*. Padova: Libreria Universitaria, 2016

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Dispense del docente "S. Casotto, *Lezioni di Meccanica Celeste*". I testi di riferimento elencati sono consigliati e non obbligatori. Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

COMPUTATIONAL ASTROPHYSICS

Titolare: Dott. TIZIANO ZINGALES

Mutuato da: Laurea magistrale in Physics of Data (Ord. 2018)

Periodo: Il anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Nozioni di base di programmazione, il linguaggio di programmazione riferimento sarà Python, ma gli studenti sono liberi di usare altri linguaggi. Nozioni di base di Analisi matematica I e II. Nozioni di base di Cinematica, Dinamica e Termodinamica (Fisica Generale I), in particolare la teoria di Newton della Gravitazione Universale. Conoscenze nel campo dell'astrofisica non sono richieste ma possono essere utili.

Conoscenze e abilità da acquisire:

L'Astrofisica Computazionale studia una vasta gamma di processi astrofisici (dalla dinamica stellare, fino alla formazione delle stelle e delle galassie, l'evoluzione dell'Universo primordiale e la fisica delle sorgenti di onde gravitazionali) attraverso l'uso di codici numerici. In questo corso, gli studenti familiarizzeranno con alcune delle più importanti tecniche usate in Astrofisica Computazionale e le useranno per sviluppare un loro codice a N-corpi e lavorare a progetti di interesse astrofisico.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Il corso è strutturato in due parti sincrone. Circa la metà delle lezioni sarà dedicata a lezioni frontali, durante le quali verranno introdotti i principali metodi utilizzati in astrofisica computazionale e le loro applicazioni salienti. L'altra metà del corso consisterà in sessioni di laboratorio. Durante queste sessioni, gli studenti, suddivisi in gruppi da 3-4 elementi, metteranno in pratica quanto illustrato nelle lezioni frontali, sviluppando un codice N-corpi sotto la guida del docente e affrontando problemi numerici specifici dell'astrofisica. Sia la creazione del codice che la risoluzione degli esercizi numerici sono prerequisiti per accedere all'esame finale. Verso la conclusione del corso, gli studenti avranno l'opportunità di discutere con il docente la selezione di un progetto finale di carattere astrofisico. Questo progetto potrà essere eseguito utilizzando il codice da loro sviluppato oppure optando per uno dei codici avanzati presentati durante le lezioni. Per rendere più attiva la partecipazione degli studenti verranno utilizzati strumenti di "live feedback" come wooclap o mentimeter. Verranno anche sfruttati gli strumenti di Moodle per avere un spazio di discussione aperto e sempre disponibile sia tra studenti sia con il docente. SPECIALE: Questo corso è parte di un'iniziativa pilota nell'ambito del progetto europeo FEEF (<https://feef.unl.pt/>), al quale l'Università di Padova aderisce tramite l'Ufficio Career Service. L'obiettivo del progetto FEEF è di sviluppare e rafforzare nelle studentesse e negli studenti competenze trasversali, spesso richieste nel contesto imprenditoriale, facilitando così il ponte tra il mondo accademico e il mondo del lavoro. Nell'ambito di questa iniziativa, in una delle lezioni verrà ospitato un rappresentante di un'azienda del settore aerospaziale, il quale presenterà agli studenti una problematica tipica del loro ambito. Gli studenti avranno l'opportunità di affrontare tale problema utilizzando le competenze acquisite nel corso. Il docente supporterà gli studenti in questa attività, introducendo tecniche di analisi e soluzione del problema secondo le linee guida del FEEF. Sebbene il progetto in questione non costituirà materia d'esame,

rappresenta un'occasione preziosa per gli studenti di interfacciarsi direttamente con il mondo aziendale e comprendere come gli strumenti e le competenze appresi possano trovare applicazione anche al di fuori dell'ambito astrofisico.

Contenuti:

--- Parte 0: Introduzione --- 0.1- Presentazione del corso 0.2- Introduzione generale all'astrofisica computazionale Sessioni in laboratorio: - impostazione dell'ambiente di sviluppo (Virtual Machine, Docker) - introduzione alla gestione di un progetto computazionale (git, documentazione, creazione di un modulo di python) --- Parte 1: Simulazioni N-corpi e integrazioni di orbite. --- 1.1- Introduzione generale al problema astrofisico a N-corpi. 1.2- Cenni di dinamica stellare: tempi scala; divisione tra sistemi collisionali e non collisionali. 1.3- Simulazioni N-corpi : definizione di una simulazione N-corpi; concetto di complessità computazionale; unità N-corpi; quantità conservate per diagnostica (energia, momento angolare); 1.4- Codici a N-corpi diretti per sistemi collisionali: algoritmi numerici per la risoluzione di equazioni differenziali (midpoint, leapfrog, Runge-Kutta, schema di Hermite e di Bulirsch-Stoer); time-step adattivi e algoritmo "block time-step"; cenni su algoritmi di regolarizzazione. 1.5- Codice a N-corpi non collisionali: algoritmo di Barnes-Hut, softening, potenziali fissi, particelle come traccianti 1.6- High-performance computing per simulazioni N-corpi : tecniche di parallelizzazione, hardware dedicati, schede grafiche come acceleratori. Sessioni in laboratorio: - sviluppo di un codice per integrazione di problemi "few-body" (N-corpi con

Modalità di esame:

Esame orale per discutere il progetto finale, il codice sviluppato (obbligatorio) e gli esercizi numerici (obbligatori) proposti durante il corso. Almeno tre giorni prima dell'esame orale, ogni gruppo consegnerà una breve relazione sullo svolgimento del progetto finale, il codice da loro sviluppato e gli esercizi proposti (se non già precedentemente consegnati). Durante il corso, gli studenti verranno divisi in gruppi di lavoro (3-4 persone) Il voto finale sarà composta dalla somma delle seguenti voci: A- Svolgimento esercizi proposti durante il corso: 5-7 punti se consegnati entro le date indicate a lezione, 1-3 punti se consegnati prima dell'esame. La consegna e svolgimento degli esercizi è comunque obbligatoria. B- Breve relazione sul progetto svolto da consegnare prima dell'esame: 1-3 punti. La consegna della relazione è comunque obbligatoria. C- Esame orale finale in cui verrà presentato il progetto finale e si discuterà il codice prodotto, gli esercizi svolti e gli argomenti trattati a lezione: 1-25 punti. I voti per i punti A e B saranno uguali per tutto il gruppo di lavoro, mentre i voti per il punto C saranno personali per ogni studente. Il punteggio finale potrà quindi variare tra un minimo di 3 e un massimo di 35. In caso di punteggio superiore al 30, il voto finale sarà 30 e lode.

Criteri di valutazione:

Durante il corso, gli studenti verranno divisi in gruppi di lavoro (3-4 persone) e metteranno in pratica quanto appreso a lezione sviluppando un proprio codice a N-corpi, integrandolo con un codice di sintesi di popolazione stellare (SEVN). Lo sviluppo del codice è obbligatorio e avverrà durante le sessioni di laboratorio, attraverso il completamento di esercizi numerici (che sono anch'essi obbligatori per l'accesso all'esame). Nell'ultima parte del corso, ogni gruppo sceglierà un progetto finale da realizzare utilizzando il codice da loro sviluppato (o, in alternativa, uno dei codici avanzati presentati a lezione). I partecipanti al corso devono acquisire un'ottima padronanza delle tecniche numeriche introdotte durante il corso e una buona comprensione delle problematiche astrofisiche affrontate. Gli esercizi svolti dagli studenti verranno valutati considerando la chiarezza e correttezza delle soluzioni. Le relazioni del progetto finale verranno valutate considerando la correttezza e la pertinenza della parte di background astrofisico e di descrizione delle tecniche numeriche utilizzate. La parte di risultati verrà valutata sulla chiarezza e sull'interpretazione di quanto ottenuto. L'esame orale finale servirà a giudicare la comprensione degli aspetti tecnici numerici e degli aspetti astrofisici. Verranno anche valutate la corretta gestione del lavoro di gruppo e la chiarezza dell'esposizione finale.

Testi di riferimento:

CONTENUTO NON PRESENTE

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

* Slide e altri materiali presentati a lezione dal docente (Giuliano Iorio) * Gravitational N-Body Simulations: Tools and Algorithms, Sverre J. Aarseth, Cambridge University Press, online ISBN: 9780511535246, doi: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535246> * Stellar Structure and Evolution: Rudolf Kippenhahn, Alfred Weigert, Achim Weiss, Springer, Online ISBN: 978-3-642-30255-8 • Print ISBN: 978-3-642-30304-3 • DOI: DOI 10.1007/978-3-642-30304-3 * Galactic Dynamics: Second Edition, James Binney & Scott Tremaine, Princeton University Press Print ISBN 978-0-691-13027-9 * Astrophysical Recipes: The Art of Amuse, Simon Portegies Zwart & Steve McMillan, IOP ebooks, Online ISBN: 978-0-7503-1320-9 • Print ISBN: 978-0-7503-1830-3

COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE

Titolare: Prof. NICOLA BARTOLO

Periodo: Il anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

In genere le basi utili per seguire questo corso sono fornite dai vari corsi all' interno dei possibili percorsi.

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. Particolare attenzione sarà riservata ai temi di ricerca più attuali di questo campo.

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 cosmologici di inflazione e loro principali caratteristiche (con esempi anche 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 (effetti osservativi sia di tipo cosmologico che ad interferometri). Fase di reheating e meccanismi di bariogenesi. Formalismo Delta-N e formalismo in-in per lo studio delle perturbazioni cosmologiche. Esempio di applicazione: non-Gaussianità primordiale. 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, 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 chiaramente individuate nei testi di riferimento e per diverse parti del corso saranno a disposizione degli appunti del docente. Per alcuni argomenti saranno indicate anche alcune referenze specifiche della letteratura per possibili approfondimenti.

EXOPLANETARY ASTROPHYSICS

Titolare: Prof. GIAMPAOLO PIOTTO

Periodo: Il anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Conoscenze di base (a livello di Laurea Triennale) di Fisica, Astronomia e Astrofisica.

Conoscenze e abilità da acquisire:

Il corso intende dare una panoramica completa e aggiornata sulle attività di ricerca e caratterizzazione degli esopianeti, incluse le loro atmosfere. Alla fine del corso, lo studente avrà appreso le tecniche principali di ricerca degli esopianeti e del software di base per analisi di curve di luce e di velocità radiali per la determinazione dei parametri orbitali e fisici degli esopianeti. Lo studente acquisirà anche competenze di base sugli spettri delle atmosfere degli esopianeti, metodologie di acquisizione degli spettri stessi e analisi. Scopo finale del corso è portare lo studente allo stato dell'arte attuale dello studio degli esopianeti e acquisire le conoscenze di base per poterne seguire gli sviluppi, se interessato.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali o via web in inglese. Esercizi di lettura e presentazione articoli scientifici su esopianeti. Esercizi di consultazione pagine web specifiche per aggiornamento sulla ricerca e caratterizzazione di esopianeti. Esperienza (diretta se possibile o virtuale) al telescopio per osservazione del transito di un esopianeta.

Contenuti:

Panoramica delle proprietà dei pianeti e satelliti del Sistema Solare. Tecniche di ricerca dei pianeti extrasolari. Programmi di ricerca di pianeti extrasolari, da Terra e dallo spazio, presenti e futuri. Proprietà fisiche generali dei pianeti extrasolari. Esopianeti e sistemi planetari extrasolari di particolare interesse. Progetti di ricerca e caratterizzazione di pianeti extrasolari tramite: velocità radiali, fotometria, astrometria, transiting timing variations e altre tecniche. Ricerca di exomoons. Formazione degli esopianeti. Studio delle atmosfere esoplanetarie: tecniche, progetti presenti e futuri, risultati. Esplorazione diretta pianeti extrasolari. Osservazione diretta al telescopio (Asiago) di un transito di un esopianeta.

Modalità di esame:

Esame orale sul programma del corso, con presentazione di uno o più articoli su exoplanet pubblicati recentemente

Criteri di valutazione:

Capacità di esporre in modo adeguato e conoscenza degli argomenti del programma dell'insegnamento. Capacità di collegare i diversi argomenti trattati a lezione. Capacità di apprendimento e sintetizzare articoli scientifici pubblicati sull'argomento del corso (esopianeti).

Testi di riferimento:

Perryman, Michael A. C., >exoplanet handbook Michael Perryman. Cambridge: Cambridge University Press, 2018 Belmonte, Juan Antonio; Deeg, Hans, Handbook of exoplanets. Cham: Springer International Publishing, 2018

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni, inclusi gli articoli scientifici suggeriti dal docente, viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

FINAL EXAMINATION

Titolare: da definire

Periodo: Il anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: ; 42,00

FLUID AND PLASMA DYNAMICS

Titolare: Dott. MAURIZIO GIACOMIN

Mutuato da: Laurea magistrale in Physics (Ord. 2021)

Periodo: Il anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Conoscenza di base dell'elettromagnetismo.

Conoscenze e abilità da acquisire:

Lo studente sarà in grado di: - Discutere le principali assunzioni e limitazioni di una descrizione di tipo fluido. - Derivare le equazioni fluidodinamiche dall'equazione di Boltzmann. - Descrivere la dinamica di fluidi e plasmi in esempi pratici. - Identificare le principali cause di instabilità nella dinamica di fluidi e plasmi. - Spiegare, a livello qualitativo, l'origine della turbolenza nei fluidi e plasmi.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali.

Contenuti:

Il corso presenta 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. Fluidi e plasmi in natura ed in laboratorio. Caratteristiche e limiti delle teorie per la descrizione di fluidi e plasmi. L'equazione di Boltzmann. Fluidi neutri. Derivazione delle equazioni fluidodinamiche a partire dall'equazione di Boltzmann. Proprietà dei fluidi ideali. Viscosità. Teoria lineare di onde e instabilità. Approccio perturbativo. Turbolenza nei fluidi neutri e 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. L'equazione di Vlasov. Introduzione alla teoria giro-cinetica. Principali instabilità giro-cinetiche. Lo smorzamento di Landau. Le equazioni di Braginskii. Turbolenza nei plasmi. Le equazioni della magnetoidrodinamica (MHD) ideale e resistiva. Principali instabilità della MHD. Riconnessione magnetica e il modello di Sweet-Parker. Generazione del campo magnetico tramite l'effetto dinamo.

Modalità di esame:

Esame orale

Criteri di valutazione:

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

Testi di riferimento:

A.R. Choudhuri, The Physics of Fluids and Plasmas. : Cambridge University Press, 1998

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Saranno fornite all'inizio del corso.

FUNDAMENTALS OF ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY

Titolare: Prof. SABINO MATARRESE

Periodo: I anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Concetti fondamentali di meccanica quantistica e relatività speciale

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 in inglese.

Contenuti:

Concetti fondamentali dell'astrofisica galattica ed extra-galattica • La Classificazione delle galassie • Proprietà statistiche della popolazione galattica • Gruppi e ammassi di galassie • Concetti fondamentali 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 (trattazione approssimata a bassi redshift). • Deduzione Newtoniana delle equazioni di Friedmann e correzioni relativistiche. • 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. • Trattazione esatta della legge di Hubble. 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. • Cinematica e dinamica dell'inflazione: l'"inflatone". • Vecchia e nuova inflazione, inflazione caotica; dinamica con lento rotolamento (cenni). • Asimmetria barionica. Bariogenesi (cenni). • Nucleosintesi primordiale degli elementi leggeri. • 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 • Contrazione gravitazionale e condizioni per l'equilibrio idrostatico • Indice adiabatico ed equilibrio. • Condizioni per il collasso gravitazionale • Teoria di Jeans dell'instabilità gravitazionale • Contrazione di una protostella • Formazione stellare e gas degeneri di elettroni. • Il Sole: proprietà generali, diffusione radiativa, fusione termonucleare. • Nucleosintesi stellare • Cicli stellari. • Diagramma di Hertzsprung-Russell. • Elementi di struttura stellare. Modello di Clayton. Massa minima e massima per una stella. • Fasi finali dell'evoluzione stellare: nane bianche, stelle di neutroni, massa di Chandrasekhar, buchi neri. La formazione delle strutture cosmiche

* Evoluzione lineare delle perturbazioni nell'Universo in espansione (principi fondamentali). * Collasso sferico di una protostruttura. * Funzione di massa delle strutture cosmiche: teoria di Press-Schechter.

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:

Kolb E.W., Turner M., The Early Universe. Redwood City: Addison-Wesley, 1990 Phillips A.C., The Physics of Stars. Chichester: Wiley and Sons, 1994
Coles P., Lucchin F., Cosmology, The Origin and Evolution of Cosmic Structure.. Chichester: Wiley and Sons, 2002 Mo H., van den Bosch F. White S., Galaxy Formation and Evolution. Cambridge: Cambridge University Press, 2010

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 attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

FUNDAMENTALS OF MODERN PHYSICS

Titolare: Prof.ssa CHIARA MAURIZIO

Periodo: I anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Fondamenti di fisica quantistica.

Conoscenze e abilità da acquisire:

L'obiettivo formativo dell'insegnamento è acquisire competenze di fisica atomica e molecolare e di meccanica statistica quantistica. Alla fine del corso lo studente sarà in grado di: - spiegare quantitativamente i livelli elettronici e lo spettro degli atomi ad un elettrone, includendo effetti di struttura fine, iperfine e interazione con campi magnetici/elettrici statici. - descrivere la forma delle righe di assorbimento/emissione di spettri atomici/molecolari e la loro dipendenza dalle condizioni termodinamiche del gas. - descrivere le principali caratteristiche degli atomi a molti elettroni, anche in relazione al principio di esclusione di Pauli. - descrivere le caratteristiche principali di un gas bosonico e fermionico, con esempi specifici. - risolvere semplici problemi di fisica atomica e molecolare anche in particolare con un approccio perturbativo.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali. Casi di studio ed esempi svolti. Le lezioni sono tenute in inglese.

Contenuti:

1) Richiami: Equazione di Schroedinger per una particella in un potenziale centrale e per atomi idrogenoidi. Armoniche sferiche e soluzione radiale. Valori di aspettazione notevoli e andamento delle soluzioni. Teorema del viriale per un atomo ad un elettrone. 2) Teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo, caso non degenero e degenero. Esempi. Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo. Perturbazione accesa ad un istante t_0 e poi costante, perturbazione periodica. Frequenza di Rabi. 3) Interazione di un atomo idrogenoide con la radiazione elettromagnetica. Probabilità di transizione, approssimazione di dipolo, sezione d'urto di assorbimento e di emissione stimolata. Emissione spontanea, regole di selezione in approssimazione di dipolo per un atomo idrogenoide. Spin del fotone: esperimento di Beth. 4) Tempo di vita di uno stato eccitato. Profilo di una riga di emissione/assorbimento. Sezione d'urto di assorbimento. Pressure broadening e Doppler broadening. Esempi. Principio di funzionamento e caratteristiche emissive di un laser/maser. Maser ad ammoniaca. Laser a stato solido. Spettroscopie: esempi di spettroscopia sub-Doppler. 5) Composizione di momenti angolari. Struttura fine di un atomo idrogenoide: interazione spin-orbita, correzione relativistica, correzione di Darwin. Termine di struttura fine complessivo. Calcolo di alcuni livelli energetici di un atomo idrogenoide. Correzione di Lamb. Struttura iperfine. Riga a 21 cm dell'idrogeno. 6) Effetto Zeeman 'normale' (caso lineare, campi intensi): esempi, transizioni, condizioni di polarizzazione. Effetto Zeeman (caso lineare, interazione spin-orbita come perturbazione [Paschen-Bach]). Effetto Zeeman 'anomalo' (caso lineare, campi deboli). Effetto Zeeman per campi ultra forti. 7) Effetto Stark-Lo Surdo lineare: stato $n=1$ e $n=2$ per un atomo idrogenoide, transizioni $2s \rightarrow 1s$ di un atomo di idrogeno in presenza di campo elettrico. Effetto Stark-Lo Surdo quadratico (caso $n=2$), polarizzabilità statica. Quenching dello stato $2s$ dell'idrogeno. Ionizzazione dovuta ad un campo elettrico statico (trattazione qualitativa). 8) Atomi a molti elettroni. Stato di tripletto, di singoletto. Principio di esclusione di Pauli (forma debole e forte). Atomo di elio (elettroni indipendenti, carica efficace). Stato fondamentale di un atomo a 2 elettroni: approccio perturbativo al prim'ordine. Stati eccitati puramente discreti: caso $(1s, 2s)$. Metodo variazionale e applicazione allo stato fondamentale di un atomo a 2 elettroni. Effetto Auger per l'elio. 9) Approssimazione di potenziale centrale per un atomo a molti elettroni. Teoria di Hartree, risultati. Determinante di Slater. Metodo di Hartree-Fock (cenni). Risultati, tavola periodica, configurazioni. 10) Correzione al potenziale centrale. Accoppiamento L-S: esempi di configurazione elettronica e degenerazione corrispondente. Accoppiamento j-j. 11) Molecole: approssimazione di Born Oppenheimer. Molecole semplici: H_2^+ (combinazione lineare di orbitali atomici) e H_2 . 12) Dinamica rotazionale e vibrazionale di molecole. Spettroscopie rotazionali, vibrazionali e rotovibrazionali. 13) Meccanica Statistica Quantistica. Indice di occupazione. Distribuzioni di Bose-Einstein e Fermi-Dirac. Esempi.

Modalità di esame:

Verranno effettuate due prove orali parziali (una circa a metà corso e una alla fine), che consistono nella discussione anche formale dei temi trattati a lezione. L'esame complessivo consiste in una prova orale (o nelle due prove parziali, se entrambe sufficienti).

Criteri di valutazione:

Sarà valutato il grado di comprensione degli argomenti svolti, l'acquisizione dei concetti e dei metodi di approssimazione proposti nell'insegnamento e la capacità di applicarli in modo critico e consapevole.

Testi di riferimento:

Eisberg, Robert M.; Resnick, Robert, Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles. New York: Wiley, 1985 Gasiorowicz, Stephen, Quantum Physics. Hoboken: J. Wiley, 2003 Bransden, Brian Harold; Joachain, Charles J., Physics of Atoms and Molecules. Harlow: Prentice Hall, 2003 McGervey, John D., Solutions Manual for Introduction to Modern Physics. Orlando: Academic Press, 1984 Tennyson, Jonathan, Astronomical Spectroscopy. London, UK: Imperial College Press, 2005

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Gli argomenti e i contenuti trattati a lezione potranno essere approfonditi e/o integrati sui testi di riferimento. Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

GALACTIC DYNAMICS

Titolare: Prof. ENRICO MARIA CORSINI

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Conoscenze di base di Astronomia, Astrofisica, Fisica Generale e Calcolo Numerico.

Conoscenze e abilità da acquisire:

Conoscenza della struttura e della distribuzione di massa della Via Lattea e delle altre galassie usando la dinamica stellare per interpretare dati fotometrici e spettroscopici ottenuti con osservazioni da terra e dallo spazio. Capacità di confrontare predizioni teoriche basate sulle equazioni fondamentali dell'idrodinamica stellare con dati osservativi.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali alla lavagna e con l'aiuto di presentazioni PowerPoint su temi relativi alla struttura e alla dinamica delle galassie. Le lezioni sono in lingua inglese.

Contenuti:

1) Richiami sulle proprietà delle galassie: Morfologia. Fotometria. Cinematica. Relazioni di scala. 2) Teoria del potenziale: Potenziale gravitazionale. Equazione di Poisson. Equazione di Laplace. Teorema di Gauss. Energia Potenziale. Tensore dell'energia potenziale. Sistemi sferici. Teoremi di Newton. Massa puntiforme. Sfera omogenea. Profilo di densità secondo la legge di Hubble modificata. Profilo di densità a legge di potenza. Sistemi assisimetrici. Potenziale logaritmico. 3) Orbite delle stelle: Costanti e integrali del moto. Superfici di sezione. Orbite in un potenziale sferico statico. Orbite in un potenziale Kepleriano. Orbite in un potenziale assisimetrico. Moto nel piano meridionale. Orbite quasi circolari: approssimazione epiciclica. Orbite in un potenziale bidimensionale non assisimetrico non rotante. Orbite di tipo "loop" e "box". Orbite stabili e instabili. Orbite in un potenziale bidimensionale non assisimetrico rotante. Integrale di Jacobi. Punti di Lagrange. Corotazione. Famiglie di orbite x_1 , x_2 , x_3 , x_4 . Cenni sulle orbite in un potenziale tridimensionale triassiale. 4) Sistemi non collisionali: Urti geometrici. Urti forti. Urti deboli. Tempo di attraversamento. Tempo di rilassamento. Funzione di distribuzione. Equazione non collisionale di Boltzmann. Equazione di continuità. Equazione di Eulero. Equazioni di Jeans. Applicazioni delle equazioni di Jeans. Ellissoide delle velocità. Asymmetric drift. Densità di massa nei dintorni solari. Dispersione di velocità di un sistema sferico. Degenerazione massa-anisotropia. Sistemi sferoidali con dispersione di velocità isotropa. Processi di riscaldamento del disco stellare e forma dell'ellissoide delle velocità. Teorema del viriale. Rapporto massa-luminosità dei sistemi sferici. Rotazione delle ellittiche. Teorema di Jeans. Applicazione ai sistemi sferici. Sistemi sferici con dispersione di velocità isotropa. Politropi. Sfera di Plummer. Sfera isoterma. Sfera singolare isoterma. Raggio di King. Metodo di King per determinare il rapporto massa-luminosità. Modelli di King. Raggio mareale. Parametro di concentrazione. Determinazione della funzione di distribuzione dal profilo di densità. Equazione di Eddington. Cenni sui sistemi sferici con dispersione di velocità anisotropa. Modelli di Michie.

Modalità di esame:

Esame orale su diversi argomenti trattati a lezione.

Criteri di valutazione:

Lo studente dovrà dimostrare proprietà di linguaggio nel descrivere la struttura delle galassie e i fenomeni ad essa connessi, completezza delle conoscenze acquisite nel campo della dinamica dei sistemi stellari, capacità di ragionamento quando viene chiamato a collegare i diversi argomenti trattati a lezione, capacità critica nel confronto tra dati sperimentali e predizioni teoriche, capacità di risolvere semplici esercizi utili ad applicare le conoscenze acquisite.

Testi di riferimento:

Ryden, Barbara, Celestial and Stellar Dynamics. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2025 Binney, James; Tremaine, Scott, Galactic Dynamics. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1987 Ciotti, Luca, Introduction to Stellar Dynamics. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2021

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://elearning.unipd.it/dfa/>). Testi di riferimento. Dispense del docente.

GENERAL RELATIVITY FOR ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY

Titolare: Prof. FRANCESCO D'ERAMO

Periodo: I anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Fondamenti di analisi matematica (derivate, integrali, equazioni differenziali), e conoscenza della relatività speciale.

Conoscenze e abilità da acquisire:

Questo è un corso introduttivo alla teoria della Relatività Generale di Einstein. Il primo obiettivo è padroneggiare gli strumenti matematici necessari per utilizzare nella pratica tale teoria. Il secondo obiettivo è conoscere le applicazioni fenomenologiche di questa teoria e le sue prove sperimentali.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali alla lavagna durante il semestre. Inoltre, verranno periodicamente messi a disposizione degli studenti dei set di problemi durante il semestre. Gli studenti saranno incoraggiati a lavorare regolarmente su questo materiale e a discuterne con il docente durante l'orario di ricevimento. Il problema da risolvere che verrà chiesto durante la prova orale sarà scelto tra quelli presenti in questa serie di problemi. Le lezioni sono tenute in inglese.

Contenuti:

1. INTRODUZIONE Richiami di relatività ristretta: trasformazioni di Lorentz, tensore metrico, spazio tempo piatto, dilatazione del tempo, contrazione delle lunghezze. Quadri vettori e tensori. Tensore energia-impulso. Sistemi inerziali. Massa gravitazionale e inerziale. 2. GRAVITÀ COME GEOMETRIA Il principio di equivalenza. Curvatura. Trasporto parallelo e derivate covarianti. Geodetiche. Il tensore di Riemann e il tensore di Ricci. 3. LE EQUAZIONI DI EINSTEIN Equazioni di Einstein. Il tensore di Einstein. Equazione di Einstein con una costante cosmologica. Condizioni energetiche. Approssimazione di campo debole. 4. LA SOLUZIONE DI SCHWARZSCHILD La metrica di Schwarzschild e le sue singolarità. Orbite nella metrica di Schwarzschild. Test del sistema solare della relatività generale. Buchi neri e stelle. 5. BUCHI NERI PIÙ GENERALI Metrica di Reissner-Nordström per un buco nero carico. Metrica di Kerr per un buco nero rotante. 6. COSMOLOGIA Principio cosmologico. Universi massimamente simmetrici. La metrica FLRW e la curvatura spaziale. Luminosità e distanza angolare. Redshift cosmologico. L'equazione di Friedmann. Evoluzione dell'universo in presenza di materia, radiazione e costante cosmologica. 7. ONDE GRAVITAZIONALI Gravità nel regime lineare e trasformazioni di gauge. Soluzioni di onde gravitazionali. Produzione di onde gravitazionali. Perdita di energia dovuta alla radiazione gravitazionale. Rilevazione delle onde gravitazionali.

Modalità di esame:

Esame orale. Durante l'orale verranno poste domande sui contenuti del corso e verrà chiesta la risoluzione di un problema scelto tra un elenco di problemi messo a disposizione durante l'anno accademico.

Criteri di valutazione:

La prova orale stabilirà il grado di comprensione del materiale trattato a lezione durante il corso, e la capacità di problem solving ancora nell'ambito del materiale del corso.

Testi di riferimento:

Carroll, Sean M.; Carroll, Sean M., Spacetime and geometry an introduction to general relativity. San Francisco [etc: Addison Wesley, 2004 Hartle, James B.; Hartle, James B., Gravity an introduction to Einstein's general relativity. Harlow: Pearson education limited, 2014

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

GRAVITATIONAL PHYSICS

Titolare: Prof. GIACOMO CIANI

Periodo: I anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Conoscenze di base di relatività generale sono suggerite, ma non essenziali.

Conoscenze e abilità da acquisire:

Fondamenti di relatività generale; teoria linearizzata e onde gravitazionali (OG). Meccanismi di generazione di OG e sorgenti astrofisiche. Comprensione dei principi di funzionamento, principali limitazioni e prospettive future dei rivelatori di OG. Elementi di analisi dei segnali gravitazionali. Panoramica sullo stato attuale del campo dell'astronomia con OG.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali con teoria ed esempi in inglese.

Contenuti:

Elementi di relatività generale. Onde gravitazionali (OG) nella teoria linearizzata; TT-gauge e detector frame; interazione con la massa in caduta libera e corpi rigidi. Generazione di OG. Approssimazioni di quadrupolo e post-newtoniana. Perdita di energia e momento per emissione di OG. Esempi di sorgenti di OG: sistemi binari stabili e coalescenti, corpi rigidi rotanti, inspirals con rapporto di massa estremo. Rivelazione di OG. Il sistema di Hulse-Taylor. Fondamenti di segnali stocastici e teoria del rumore. Barre risonanti. Moderni interferometri per OG: principi di base, sorgenti di rumore, limitazioni fondamentali e tecniche. Esperimenti futuri. Cenni di analisi dei dati. Astronomia e scienza con le onde gravitazionali. Osservazioni attuali di collisioni fra buchi e neri e fra stelle di neutroni. Test della relatività generale. Implicazioni astrofisiche. Astronomia multi-messaggero.

Modalità di esame:

Esame orale mirato a verificare la comprensione concettuale degli argomenti presentati e l'abilità di affrontare correttamente e analizzare problemi specifici legati alla teoria e rivelazione delle OG.

Criteri di valutazione:

Lo studente deve dimostrare la comprensione e l'abilità di valutare criticamente i concetti, meccanismi e problemi legati alla generazione e rivelazione di radiazione gravitazionale.

Testi di riferimento:

Hobson, M. P.; Efstathiou, George Petros, General relativity an introduction for physicists. Cambridge: Cambridge University Press, 2006 Maggiore, Michele, Gravitational waves Michele Maggiore. Oxford: Oxford University Press, 2008

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Le lezioni saranno basate su trasparenze preparate dal docente, che saranno rese disponibili agli studenti in anticipo rispetto alla lezione. Porzioni di altre risorse scritte verranno indicate quando utili per parti specifiche del corso. Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

MATHEMATICAL AND NUMERICAL METHODS

Titolare: Prof. MICHELE LIGUORI

Periodo: I anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Nozioni fondamentali di Analisi Matematica I e II, Algebra Lineare e Geometria. Nozioni fondamentali di Cinematica e Dinamica (Fisica Generale I). Nozioni di base di programmazione (meglio se in python).

Conoscenze e abilità da acquisire:

Gli studenti impareranno a risolvere semplici problemi di fisica/astrofisica tramite metodi numerici.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Le lezioni consisteranno in una parte di teoria e una parte di esercizi direttamente al computer. Le lezioni sono tenute in inglese.

Contenuti:

Ciascuna lezione consisterà in una parte di teoria e una parte di esercizi. 1. Breve riassunto delle caratteristiche del sistema operativo gnu-linux. 2. Breve riassunto delle tecniche di programmazione in python. 3. Soluzione di sistemi di equazioni lineari algebriche (Gauss-elimination, LU decomposition, Gauss-Seidel method). 4. Soluzione di equazioni non lineari (relaxation method, bisection method, Newton Raphson method). 5. Derivate numeriche. 6. Numeri casuali (random generators, uniform deviates, inversion method, rejection method); esempi di generazione di numeri casuali che seguono distribuzioni astrofisiche. 7. Integrazione di funzioni (e.g. metodo Monte Carlo, regola dei trapezi). 8. Integrazione di equazioni differenziali ordinarie (schema di Eulero, Leapfrog, Runge-Kutta, Hermite); esempi: evoluzione di un sistema binario per effetto di emissione di onde gravitazionali; il problema a N-corpi astrofisico. 9. Integrazione di equazioni differenziali parziali (finite difference methods, forward-time centered-space methods). 10. Trasformate di Fourier: the discrete Fourier transform, the fast Fourier transform. 11. Metodi di interpolazione ed estrapolazione (linear, polynomial, cubic spline); loro applicazione ad un campione astrofisico. 12. Metodi per fare i fit. 13. Librerie di python per il trattamento di dati scientifici (e.g. pandas). 14. Conoscenze di base di machine learning.

Modalità di esame:

Esame scritto (salvo problemi legati all'emergenza covid-19).

Criteri di valutazione:

Gli esercizi proposti devono essere svolti in maniera corretta e completa. I partecipanti devono acquisire un'ottima padronanza delle principali tecniche numeriche discusse a lezione.

Testi di riferimento:

Mark Newman, Computational Physics. : Amazon Digital Services,

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia. * Lecture notes by Michela Mapelli * Guido van Rossum: Python Reference Manual. May 1995. CWI Report CS-R9525. * Guido van Rossum: Python Tutorial. May 1995. CWI Report CS-R9526. * Numerical Methods in Engineering with Python, Jaan Kiusalaas, Cambridge University Press, ISBN-13: 978-1107033856, ISBN-10: 1107033853 * Numerical Recipes in C, W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery, Cambridge University Press, ISBN-13: 978-0521431088, ISBN-10: 0521431085 * Computational Physics, Mark Newman, Amazon Digital Services, ISBN-13: 978-1480145511, ISBN-10: 1480145513 * Computational Physics, Rubin H. Landau, Manuel J. Paez, Cristian C. Bordeianu, Wiley-VCH

MULTIMESSENGER ASTROPHYSICS

Titolare: Prof.ssa ELISA BERNARDINI

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Il corso è indirizzato a studenti con competenze di base sulla teoria della relatività ristretta, sulla fisica delle particelle elementari e delle loro interazioni e sulla fisica nucleare. Alcune lezioni iniziali saranno dedicate ad una panoramica delle conoscenze di base necessarie alla comprensione dei contenuti del corso.

Conoscenze e abilità da acquisire:

1. Giudicare criticamente diversi ambienti astrofisici quali target di interazioni di astroparticelle 2. Distinguere diverse classi di dati sperimentali: segnale e

rumore 3. Valutare qualitativamente e quantitativamente le diverse metodologie per la rivelazione di messaggeri cosmici 4. Giudicare con senso critico se i risultati sperimentali sono in accordo o meno con diverse interpretazioni teoriche 5. Criticare i risultati sperimentali in termini di incertezze irriducibili ed ambiguità nella interpretazione teorica 6. Formulare le domande irrisolte della ricerca di frontiera 7. Predire potenziali sviluppi futuri Nel caso di seminari volontari: 8. Identificare la base dei concetti teorici, delle metodologie e dei risultati di articoli di ricerca 9. Comunicare i risultati di ricerca di frontiera

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Le attività prevedono ore di lezione in aula su supporto informatico, con utilizzo di trasparenze. Alcune lezioni saranno integrate da materiale audio-visivo. Durante il corso verranno proposti alcuni calcoli ed esercizi da risolvere durante le ore di studio individuale. La soluzione dei quesiti verrà proposta in classe con il supporto informatico o mediante l'uso di una tavoletta grafica. All'inizio del corso saranno inoltre proposte attività seminariali condotte dalle studentesse e dagli studenti, da prepararsi individualmente o in gruppo. I seminari saranno presentati in classe ed integrati con le lezioni allo scopo di stimolare la discussione tra pari. Le lezioni e i seminari sono tenuti in inglese.

Contenuti:

Basi del Modello Standard delle particelle elementari. Interazione di astroparticelle in atmosfera terrestre ed in ambienti astrofisici. Metodi di rivelazione di radiazione e di particelle alle alte energie. Simulazione Monte Carlo dello sviluppo di sciami elettromagnetici ed adronici in atmosfera terrestre. Propagazione di raggi cosmici nella Via Lattea e nello spazio intergalattico. Proprietà dei raggi cosmici alle energie più estreme. Meccanismi di Fermi di accelerazione dei raggi cosmici e segnali multi-messenger. Sorgenti astrofisiche potenzialmente responsabili dell'emissione dei raggi cosmici. Basi di modellizzazione dell'emissione multi-messenger di sorgenti astrofisiche. Astrofisica dei neutrini di alte energie. Onde Gravitazionali. Ricerca indiretta della Materia Oscura.

Modalità di esame:

La verifica delle conoscenze e delle abilità attese viene effettuata mediante una prova d'esame orale. Gli eventuali seminari che le studentesse e gli studenti presenteranno su base volontaria durante il corso non saranno oggetto di valutazione.

Criteri di valutazione:

I criteri di valutazione delle conoscenze e delle abilità acquisite sono: 1. Completezza delle conoscenze acquisite 2. Capacità di descrivere i principali risultati sperimentali e concetti teorici acquisiti 3. Capacità di coerenza tra i risultati sperimentali presentati e la loro interpretazione 4. Abilità di identificare e descrivere correttamente i limiti raggiunti nei risultati sperimentali e nella loro interpretazione 5. Abilità di identificare e giudicare le prospettive di avanzamento future 6. Proprietà della terminologia utilizzata

Testi di riferimento:

Perkins, Donald H.; Perkins, Donald H., Particle astrophysics. Oxford: Oxford University Press, 2009 Spurio, Maurizio, Probes of multimessenger astrophysics charged cosmic rays, neutrinos, γ -rays and gravitational waves. Cham: Springer International Publishing, 2018 De Angelis, Alessandro; Pimenta, Mário João Martins; De Angelis, Alessandro, Introduction to particle and astroparticle physics multimessenger astronomy and its particle physics foundations. Cham: Springer, 2018

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

La docente metterà a disposizione ampio materiale di approfondimento nella forma di articoli di ricerca scientifica e di review su varie tematiche attuali di ricerca inerenti ai contenuti del corso. Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

NUCLEAR ASTROPHYSICS

Titolare: Prof. ANTONIO CACIOLLI

Mutuato da: Laurea magistrale in Physics (Ord. 2024)

Periodo: 1 anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Elementi di meccanica quantistica, fisica nucleare e di fisica generale

Conoscenze e abilità da acquisire:

il corso si propone di fornire una preparazione teorica e sperimentale sui concetti chiave dell'astrofisica nucleare. Gli studenti acquisiranno le competenze per illustrare il funzionamento della nucleosintesi stellare e nel big bang Da un punto di vista sperimentale riusciranno ad interpretare correttamente le scelte sperimentali fatte nei vari setup attivi nei laboratori di tutto il mondo Potranno comparare diverse scelte sperimentali e sviluppare in modo creativo scelte proprie Acquisiranno concetti pratici di analisi dati e la capacità di valutarne l'impatto nei network di evoluzione stellare

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Sono previste tutte lezioni in aula. Durante le lezioni saranno inframezzati momenti di lezione frontale con momenti di riflessione con task da svolgere in gruppo e successiva discussione dei contenuti affrontati da ogni singolo gruppo di lavoro.

Contenuti:

Reazioni termonucleari. Definizione di sezione d'urto, fattore S astrofisico, tasso di reazione e derivazione del picco di Gamow. Bruciamenti nucleari nelle stelle durante le fasi idrostatiche ed esplosive. Cenni di modellistica stellare. Bruciamento dell'idrogeno: catene p-p, cicli CNO, NeNa, MgAl Bruciamento dell'elio: reazioni 3-alpha e alpha + ^{12}C . Reazioni di bruciamenti nucleari avanzati (C, Ne, O, Si). I processi di cattura neutronica (s e r: lento e rapido). Per ogni argomento verrà data una panoramica dei risultati più rilevanti nella letteratura recente. Calcolo del rateo di reazione in casi specifici (cattura diretta, risonanze strette, risonanza larghe) Come svolgere un esperimento in Astrofisica Nucleare (ogni aspetto del corso verrà discusso in relazione alle strutture sperimentali in attività e legati agli ultimi risultati scientifici prodotti). Cenni sul fondo di radiazione naturale Metodi di schermatura dei rivelatori Perché è utile fare un esperimento in un laboratorio underground. Tecniche di accelerazione per ioni carichi Cenni su tipologie di sistemi di rivelazione (neutroni, gamma, particelle cariche) e tecniche di calibrazione dei rivelatori Derivazione sperimentale della sezione d'urto Tipologie di bersagli, loro caratteristiche pro e contro (gas, jet e solid target). Produzione e studio dei target e come questo influenza la misura sperimentale. Cenni sui metodi indiretti in astrofisica nucleare (THM, ANC, ...).

Modalità di esame:

Una presentazione di massimo 10 minuti su un tema astrofisico (sia dal punto di vista teorico che sperimentale) e domande legate alla presentazione e al programma svolto nel corso.

Criteri di valutazione:

Accertamento della comprensione e della padronanza degli argomenti trattati.

Testi di riferimento:

C. E Rofs e W. S. Rodney, *Couldrons in the Cosmos.* : The University Chicago Press, 1988 Iliadis C., *Nuclear Physics of Stars.* : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KgaA, 2007

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Diapositive e altro materiale reso disponibile in formato elettronico agli studenti. Articoli su riviste scientifiche presentati nel corso.

PLANETARY ASTROPHYSICS

Titolare: Prof. FRANCESCO MARZARI

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Corsi di base del triennio

Conoscenze e abilità da acquisire:

Conoscenza dei meccanismi fisici alla base della formazione ed evoluzione di sistemi planetari.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezione in aula e approfondimenti su dispense e libri di testo. Le lezioni sono tenute in inglese.

Contenuti:

1) Caratteristiche fisiche e dinamiche dei pianeti del Sistema Solare ed extrasolari. 2) Formazione dei pianeti da dischi circumstellari, migrazione planetaria e planet-planet scattering. Interazione mareale tra disco e pianeta. 3) Campi magnetici planetari, origine e morfologia. 4) Moto di cariche nei campi magnetici dei pianeti, fasce di Van Allen, magnetosfere, vento solare. 5) Interazione mareale pianeta-satellite e pianeta-stella, sincronizzazione spin-orbita, allungamento del giorno terrestre e allontanamento della Luna. 6) Risonanze spin-orbita e chaos. 7) Forze non gravitazionali che agiscono sui precursori dei pianeti: Poyting-Robertson drag, effetto Yarkovski, gas drag. 8) Il problema a 3 corpi ristretto, punti Lagrangiani (orbite di tipo Troiano) e loro stabilità, sfera di Hill e sue applicazioni (stelle variabili cataclismiche, satelliti di asteroidi) 9) Perturbazioni secolari nei sistemi a molti pianeti. 10) Equazioni della fluidodinamica e loro applicazione ai dischi circumstellari 11) Risonanze in moto medio

Modalità di esame:

Esame orale. In caso persistano le condizioni di emergenza attuali l'esame potrà essere svolto in forma telematica (Zoom o Skype).

Criteri di valutazione:

Conoscenza degli argomenti trattati e capacità di derivazione analitica dei risultati teorici.

Testi di riferimento:

Bertotti, Farinella and Vokroulicki, *Physics of the solar system.* : Kluwer, Marzari, *Planetary Astrophysics.* : Cambridge Scholar, Murray and Dermott, *Solar System Dynamics.* : Cambridge, Armitage, *Astrophysics of planet formation.* : Cambridge, Goldston and Rutherford, *Introduction to plasma physics.* : IoP, Thompson, *An introduction to astrophysical fluid dynamics.* : Imperial college press,

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento (<https://userswww.pd.infn.it/~marzari/eureka/FISICADEIPIANETI/LUCIDI/>) e sulla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

SELECTED TOPICS IN MODERN ASTROPHYSICS

Titolare: Prof. MOSLEM ZAREI

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Conoscenze di base di Cosmologia e Relatività Generale.

Conoscenze e abilità da acquisire:

L'insegnamento si propone di approfondire alcuni argomenti che sono solo accennati nelle lezioni di "Theoretical Cosmology" e "Cosmology of the Early Universe". In particolare verranno trattati diversi metodi di calcolo applicati a vari temi, dalla polarizzazione del fondo cosmico di microonde, alle onde gravitazionali alle perturbazioni cosmologiche primordiali. Questi metodi faranno leva sul fondo cosmico di microonde inteso come laboratorio utile a investigare una nuova fisica oltre il modello standard della cosmologia e delle particelle elementari. Lo studente imparerà a usare questi metodi di calcolo e acquisirà una solida conoscenza di base su alcuni aspetti che rappresentano delle novità in Cosmologia e nella Fisica Sperimentale. Saranno trattati degli argomenti legati agli aspetti quantistici della Cosmologia che si inquadrano perfettamente nel Progetto di Eccellenza "Quantum Frontiers" del Dipartimento di Fisica e Astronomia (cf. <https://qf.dfa.unipd.it/en/>).

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Tutte le lezioni saranno tenute in inglese. Al termine di ogni lezione verranno proposti agli studenti esercizi mirati per fare pratica e approfondire i concetti acquisiti. Questi esercizi spazieranno da calcoli semplici a problemi più complessi e ispirati alla ricerca, come l'applicazione di metodi di sistemi quantistici aperti a scenari inflazionistici. Saranno disponibili degli orari di ricevimento o un forum di discussione per ulteriori indicazioni e chiarimenti sui dubbi.

Contenuti:

1. Un breve riepilogo di 1.1 Relatività Generale e dell'equazione di Einstein 1.2 Cosmologia FLRW e dei fondamenti della dinamica inflazionistica 2. Applicazioni delle equazioni di Boltzmann in cosmologia, con particolare attenzione alla polarizzazione del fondo cosmico di microonde (CMB) 2.1 Polarizzazione CMB 2.2 Trattazione standard della polarizzazione della CMB tramite equazioni di Boltzmann 3. Equazioni quantistiche di Boltzmann in cosmologia 3.1 Equazioni quantistiche di Boltzmann: nozioni di base e principali equazioni 3.2 Equazioni quantistiche di Boltzmann per studiare la nuova fisica oltre il modello standard della cosmologia: - Equazioni quantistiche di Boltzmann applicate alla polarizzazione della CMB - Diffusione diretta e polarizzazione circolare 4. Sistemi quantistici aperti (OQS) in cosmologia: una breve rassegna 4.1 OQS markoviano e non markoviano 4.2 Stati squeezed dall'inflazione 4.3 Decoerenza 5. Approccio OQS all'Universo primordiale 5.1 Equazione principale per le perturbazioni inflazionistiche 5.2 Decoerenza durante l'inflazione 5.3 Transizione dalla quantistica alla classica 6. Onde gravitazionali (GW) in cosmologia 6.1 Polarizzazione da GW 6.2 Approccio OQS ai GW 7. Sensori quantistici per il recupero dell'Universo primordiale: un'introduzione 7.1 Decoerenza dovuta all'interazione di GW primordiali con un sensore quantistico 7.2 Utilizzo di un interferometro atomico per dedurre la generazione dell'entanglement gravitazionale 8. Universo Entangled: una breve rassegna

Modalità di esame:

Stesura di un elaborato scritto per approfondire degli argomenti trattati a lezione.

Criteri di valutazione:

Conoscenza degli argomenti dell'insegnamento, abilità dello studenti di elaborare in modo originale e indipendente i concetti acquisiti, capacità di ragionamento e applicazione dei metodi spiegati a lezione.

Testi di riferimento:

D. Baumann, Cosmology. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2022 H. Breuer, and F. Petruccione, The theory of open quantum systems., Oxford, UK: Oxford University Press, 2002 M. Le Bellac, Quantum Physics. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2006 S. Weinberg, Cosmology. Oxford, UK: Oxford University Press, 2008

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Le lezioni copriranno sia i fondamenti teorici che i recenti progressi nel campo della Cosmologia, mettendo in relazione il contenuto dei libri di testo con temi della ricerca contemporanea. Il corso includerà riferimenti a recenti articoli di ricerca e discussioni scientifiche attualmente in corso, offrendo agli studenti un'esposizione allo stato dell'arte della ricerca in Cosmologia. Le parti più rilevanti dell'insegnamento saranno chiaramente identificate nei vari libri di testo e saranno disponibili appunti del docente. Per alcuni argomenti verranno forniti anche specifici riferimenti bibliografici per quegli studenti che volessero eventualmente avere qualche approfondimento. Libri di testo (e letture integrative facoltative): I capitoli o le sezioni pertinenti dei libri e degli articoli di revisione suggeriti. Queste risorse possono essere particolarmente utili per calcoli avanzati relativi alle equazioni di Boltzmann, ai sistemi quantistici aperti e alla teoria delle perturbazioni.

SUBNUCLEAR PHYSICS

Titolare: Prof.ssa DONATELLA LUCCHESI

Mutuato da: Laurea magistrale in Physics (Ord. 2024)

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Principi di fisica nucleare e sub-nucleare, principi di meccanica quantistica, dinamica relativistica, teoria dei campi quantistici, grafici di Feynman, radiazione di interazione con la materia.

Conoscenze e abilità da acquisire:

Metodologie sperimentali per lo studio della fisica sub-nucleare. Fenomenologia delle interazioni fondamentali: elettromagnetiche, forti e deboli includendo il campo di Higgs. Fenomenologia di alcuni modelli oltre il modello standard che descrivono la fisica dei neutrini. Principali verifiche sperimentali dei modelli presentati.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali tramite computer da tavolo, utilizzo di animazioni e piccoli film. Possibilità di seminari da parte di esperti.

Contenuti:

Introduzione al corso e riepilogo degli argomenti pre-requisiti Rivelatori per esperimenti di fisica delle particelle Interazioni elettromagnetiche, sezione d'urto e $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ ed $e^+e^- \rightarrow h\bar{h}$ Scattering anelastico profondo, funzioni di struttura partoniche, esistenza del gluone. QCD, partoni e getti e verifiche sperimentali Interazione debole e tests sperimentali Interazione elettrodebole e tests sperimentali Proprietà del bosone Higgs Matrice di Cabibbo-Kobayashi-Maskawa e tests sperimentali Violazione di CP e T nei quark pesanti. Fisica del neutrino e tests sperimentali

Modalità di esame:

L'esame si baserà su un compito assegnato in anticipo agli studenti. Sarà costituito da esercizi o domande aperte su argomenti tra quelli discussi durante le lezioni. Esame orale sarà costituito da una breve presentazione di un argomento (fenomenologia e parte sperimentale) riguardante il programma del corso e dalla discussione del compito. Durante la discussione possono essere poste domande sugli argomenti svolti durante le lezioni.

Criteri di valutazione:

Gli esercizi saranno valutati sulla base della correttezza e semplicità nell'esecuzione. La discussione e le risposte saranno valutate considerando la correttezza, la concisione e la chiarezza dell'esposizione.

Testi di riferimento:

Peskin, Concepts of elementary particle physics. : Oxford, Martin and Halzen, Quarks and leptons. : John Wiley and son, W. R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments. : Springer-Verlag,

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Le lezioni saranno disponibili su Moodle.

Curriculum: Observations, experiments and interpretation**ASTROPHYSICS LABORATORY 2**

Titolare: Prof. LUCA MALAVOLTA

Periodo: Il anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Observations, experiments and interpretation

Tipologie didattiche: +48L; 6,00

Prerequisiti:

Conoscenze di base di astronomia e astrofisica, astrofisica stellare, fotometria e spettroscopia, statistica, programmazione in Python. Una ottima conoscenza degli argomenti trattati nei corsi "Observational Astrophysics" e "Mathematical and Numerical Methods" è consigliata.

Conoscenze e abilità da acquisire:

Il corso mira a fornire le seguenti conoscenze e capacità: 1) Capacità di identificare gli strumenti appropriati, programmare ed eseguire una osservazione al telescopio per ottenere fotometria di alta precisione. 2) Revisione critica di articoli di riviste scientifiche, identificazione ed estrazione di informazioni utili citando le fonti appropriate. 3) Identificazione ed utilizzo di archivi dati, strumenti di analisi e metodi, sviluppati nel campo dell'astrofisica, e rilevanti per lo svolgimento il compito assegnato. 4) Capacità di presentare un lavoro di ricerca originale sotto forma di un articolo scientifico ed una breve esposizione orale. Capacità di posizionare i risultati nel contesto di ricerche precedenti, evidenziando in maniera critica la loro importanza e sviluppi futuri.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali in aula. Esperienza osservativa presso l'Osservatorio di Asiago. Esperienze in laboratorio informatico. Le lezioni sono tenute in inglese.

Contenuti:

Gli obiettivi del corso verranno raggiunti attraverso lo studio pratico di un caso scientifico di attualità, ossia la caratterizzazione di pianeti extrasolari. A. Lezioni frontali in aula. 1) Principali problemi nell'acquisizione di immagini CCD per fotometria. 2) Tecniche per estrazione di fotometria di alta precisione da immagini digitali, da terra e dallo spazio. 3) Tecniche di estrazione delle velocità radiali di alta precisione ed effetti dell'attività stellare. 4) Metodi di ricerca di pianeti extrasolari. Transiti planetari. Breve riassunto dello stato della ricerca e caratterizzazione dei pianeti extrasolari. Tecniche di analisi di curve di luce per la ricerca di fenomeni di variabilità (inclusi transiti planetari). Tecniche di analisi combinata di fotometria e velocità radiali per la caratterizzazione dei pianeti extrasolari. B. Esperienza osservativa presso l'Osservatorio di Asiago (in presenza o virtuale a seconda delle disposizioni sanitarie) Preparazione ed esecuzione di osservazioni di un transito planetario al telescopio Copernico di 182 cm. I dati saranno poi ridotti ed analizzati durante l'esperienza in laboratorio. C. Esperienze in laboratorio informatico. 1) Riduzione dati del transito planetario. 2) Analisi della curva di luce ottenuta presso l'Osservatorio di Asiago in combinazione con dati provenienti da spazio. 3) Misura dei parametri orbitali e fisici (quali istante centrale del transito, inclinazione dell'orbita, raggio del pianeta, rapporto semiasse orbita/raggio). Inclusione delle velocità radiali per la misura della massa planetaria e confronto della densità planetaria con i modelli di composizione interna.

Modalità di esame:

Valutazione delle relazioni sulle esperienze di laboratorio (50% del punteggio totale) Presentazione orale del lavoro svolto (10% del punteggio totale). Esame orale sugli argomenti del corso (40% del punteggio totale)

Criteri di valutazione:

1) Criteri di valutazione delle relazioni di laboratorio: completezza e concisione delle relazioni sulla esperienza di laboratorio; rigore metodologico nella riduzione e analisi dei dati; rigore scientifico nella discussione dei risultati e capacità di inserirli nell'appropriato contesto scientifico. 2) Criteri di valutazione della presentazione orale: concisione della presentazione; correttezza e rigore del linguaggio scientifico; capacità di identificare e presentare i punti più importanti del report di laboratorio; gestione del tempo tra i membri del gruppo di lavoro e rispetto al tempo totale assegnato per la presentazione. 2) Criteri di valutazione dell'esame orale: conoscenza degli argomenti scientifici presentati durante il corso; capacità di discutere i punti principali dell'analisi, i risultati ottenuti; giustificazione delle scelte adoperate nell'applicazione dei metodi presentati a lezione; rigore del linguaggio scientifico.

Testi di riferimento:

Howell, Steve B.; Howell, Steve B., Handbook of CCD astronomy. Cambridge: Cambridge University Press, 2000 Taylor, John R.; Taylor, John R., introduction to error analysis the study of uncertainties in physical measurements. Sausalito, California: University Science Books, 1997

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

ASTROPHYSICS OF GALAXIES

Titolare: Prof. ALESSANDRO PIZZELLA

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Observations, experiments and interpretation

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Conoscenze di base sulla astrofisica extragalattica. In particolare sulla morfologia, profili fotometrici, cinematica delle galassie.

Conoscenze e abilità da acquisire:

Lo studente acquisirà conoscenze riguardo le moderne frontiere sullo studio della formazione ed evoluzione delle galassie.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali in aula con uso della lavagna e di presentazioni PowerPoint. Alcune esercitazioni sono svolte utilizzando il proprio computer portatile. Le lezioni sono tenute in inglese.

Contenuti:

1) Funzione di luminosità delle galassie: Classificazione fotometrica e spettroscopica delle galassie ad alto redshift. Effetti dell'ambiente. Principali survey da terra e dallo spazio. Il Gruppo Locale e l'universo vicino. 2) Cinematica di galassie con spettroscopia a campo integrale. 3) Relazioni di scala per le galassie ellittiche: Piano fondamentale e sua evoluzione in redshift. Relazione di Kormendy. Relazione di Faber-Jackson. Relazione Dn-sigma. 4) Relazioni di scala per le galassie a spirale: Relazione di Tully-Fisher e sua evoluzione in redshift. Dischi ad alta e bassa brillantezza superficiale. 5) Ammassi di galassie e distribuzione della materia oscura: Misura della massa in ammassi di galassie (aloni X e lenti gravitazionali). Proprietà della materia oscura nelle galassie e negli ammassi di galassie. 6) Buchi neri supermassicci nel centro di galassie. 7) Proprietà chimiche delle popolazioni stellari nelle galassie: Evoluzione, arricchimento metallico e gradienti di abbondanza chimica (indici spettrofotometrici, sistema di Lick). Relazione Mg-sigma. Relazione Mg-velocità di fuga. Relazione colore-magnitudine. Tasso di formazione stellare (tipi morfologici, ambiente, redshift). Evoluzione passiva e accrescimento gerarchico.

Modalità di esame:

Esame orale volto a valutare la comprensione delle problematiche trattate da parte del candidato

Criteri di valutazione:

Verrà valutata la conoscenza degli argomenti trattati a lezione e il livello di assimilazione dei concetti più importanti.

Testi di riferimento:

Schneider, Peter, An Introduction to Extragalactic Astronomy and Cosmology. Heidelberg: Springer, 2015

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Dispense del docente e presentazioni Powerpoint forniti attraverso il sito Moodle dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://elearning.unipd.it/dfa/>). Il testo di riferimento copre solo una parte del programma dell'insegnamento e può essere consultato presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

OBSERVATIONAL ASTROPHYSICS

Titolare: Prof. SERGIO ORTOLANI

Periodo: I anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Observations, experiments and interpretation

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Conoscenze di base di fisica ed astrofisica.

Conoscenze e abilità da acquisire:

Scopo dell'insegnamento è di approfondire alcune delle tematiche più significative di carattere osservativo-interpretativo della planetologia e dell'astrofisica stellare, galattica ed extragalattica introdotte negli insegnamenti della triennale.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali con utilizzo di lavagna, lucidi e presentazioni PowerPoint. Le lezioni sono tenute in inglese.

Contenuti:

Nella prima parte si affrontano le problematiche strumentali e interpretative dei dati osservativi di fotometria. In particolare effetti strumentali e correzioni per reddening da fotometria a larga banda. Segue l'interpretazione dei diagrammi colore-luminosità e colore-colore infrarossi nell'ambito dell'evoluzione stellare delle popolazioni stellari giovani. Nella seconda parte si studiano le proprietà fisiche dei pianeti con cenni ai pianeti extrasolari. La terza parte riguarda approfondimenti specifici da parte del mezzo interstellare galattico. 1) Richiami di nozioni di base di astrofisica: magnitudini stellari, modulo di distanza, indicatori di metallicità. Misure di distanza. 2) Rapporto segnale-rumore dei dati osservativi. Calibrazione. 3) Effetti dell'arrossamento interstellare. 4) Popolazioni stellari giovani. Diagrammi HR e diagrammi a due colori infrarossi. 5) Generalità e regolarità nel Sistema Solare. 6) Le atmosfere dei pianeti. Meccanismi di perdita di atmosfere. 7) Temperature effettive dei pianeti ed effetto serra. 8) Origine ed evoluzione del Sistema Solare. Teoria di Urey e Lewis. Datazione del Sistema Solare. Formazione della Terra. 9) Caratteristiche generali del pianeta Marte. 10) Cenni alle tecniche di rivelazione dei pianeti extrasolari. 11) Il gas nella Galassia, riga dell'HI a 21 cm. 12) Resti di supernova ed elementi di base dei modelli evolutivi. 13) Sorgenti maser stellari e interstellari.

Modalità di esame:

Esame orale o scritto con domande aperte sugli argomenti trattati a lezione

Criteri di valutazione:

Capacità di analisi e conoscenza delle problematiche trattate durante l'insegnamento. Capacità di esporre con chiarezza e rigore gli argomenti studiati. Capacità di collegare i diversi temi discussi a lezione e di confrontare criticamente i dati osservativi con le interpretazioni teoriche.

Testi di riferimento:

CONTENUTO NON PRESENTE

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Dispense del docente fornite attraverso il sito Moodle dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://elearning.unipd.it/dfa/>). Sono disponibili anche articoli scientifici su argomenti specifici per eventuali approfondimenti.

OBSERVATIONAL COSMOLOGY

Titolare: Prof.ssa GIULIA RODIGHIERO

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Observations, experiments and interpretation

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Il corso è auto-consistente, fatte salve le conoscenze di fisica e matematica delle lauree triennali in Astronomia o Fisica.

Conoscenze e abilità da acquisire:

Il corso fornisce un quadro riguardante la struttura generale e la storia evolutiva dell'universo e sue componenti, ivi compresi materia ed energia oscura, materia barionica, componenti radiative. Le principali fasi evolutive del cosmo e le principali strutture (struttura su grande scala della materia oscura e storia evolutiva dei barioni) sono oggetti di indagine. Osservabili e modalità osservative fondamentali necessari per raggiungere i principali risultati sono discussi.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali ed esercitazioni in inglese.

Contenuti:

1) Struttura su grande scala dell'universo. Distribuzione su grande scala delle galassie. Funzioni di correlazione angolari e spaziali. Correlazioni di ordine superiore. Relazione di Limber. Power-spectrum delle strutture cosmiche. Relazioni tra power-spectrum e $\xi(r)$. Osservazioni della struttura su grande scala. Spettro iniziale delle perturbazioni. Mappe 3D di galassie e nuclei attivi. Altre statistiche. Counts-in-cells. Cenni alla struttura frattale e topologica dell'universo. 2) Deviazioni da omogeneità e isotropia nella metrica Robertson-Walker. Effetti del lensing gravitazionale e sue applicazioni. Risultato newtoniano e correzione relativistica. Potenziali della lente. Lente puntiforme e distribuzioni sferiche isoterme. Raggio di Einstein. Sezioni d'urto di lensing. Effetto del lensing sui ritardi temporali. Caustiche. Osservazioni del lensing gravitazionale ed applicazioni cosmologiche. Stima delle masse degli ammassi di galassie. Stima della costante H_0 . Effetti della costante cosmologica L nelle statistiche del lensing. 3) Evoluzione cosmologica di perturbazioni nel fluido cosmico: Equazioni generali in un universo statico e in uno in espansione. Evoluzione in un universo dominato dalla materia. Hubble drag. Relazione tra perturbazioni e campi di velocità. Vincoli sui parametri cosmologici dallo studio dei moti su grande scala. 4) Struttura generale dell'universo: Moti peculiari di galassie e strutture. La legge di Hubble, determinazione delle distanze cosmiche. Deviazioni dalla legge di Hubble, velocità peculiari nel cosmo. Informazioni sulla struttura dal campo di velocità. Origine dei moti su grande e piccola scala. 5) Breve storia termica dell'universo: Contenuto di materia e radiazione nell'universo. Densità di energia. Universi dominati dalla radiazione. Epoche della ricombinazione e dell'equivalenza. Tempi scala dell'evoluzione cosmica. Entropia cosmica per barione. Nucleosintesi primordiale. 6) Radiazione cosmica nelle microonde (CMB): Scoperta della CMB. Osservazioni da terra e dallo spazio. COBE e WMAP. Origine della CMB. Proprietà spaziali, isotropia della CMB. Strutturazione angolare della radiazione. Origine delle fluttuazioni d'intensità. Processi fisici operanti sulle varie scale. Fluttuazioni sulle scale angolari intermedie. Contributi di sorgenti alle anisotropie sulle piccole scale (effetto Sunyaev-Zeldovich, sorgenti cosmiche). Vincoli dalla CMB sui parametri cosmologici. Spettro fotonico della CMB. Proprietà spettrali, distorsioni spettrali. Effetto Sunyaev-Zeldovich da plasmi caldi. Limiti osservativi alle distorsioni spettrali e loro implicazioni. 7) Cenni all'universo primordiale: Big Bang, transizioni di fase, inflazione. Il problema degli orizzonti cosmici. Singolarità del Big Bang, tempo di Planck. Transizioni di fase in cosmologia. Problemi del modello standard a Big Bang. Problema dell'orizzonte e della piattezza. Inflazione cosmica e sue soluzioni dei problemi. Principio Antropico. 8) Origine ed evoluzione della struttura su grande scala. Spettro di potenza primordiale, invariante in scala. Materia oscura calda e fredda. Scale e masse dell'orizzonte. Free-streaming della materia oscura. Stagnazione. Funzione di trasmissione nel regime lineare. Evoluzione non lineare. Teoria di Press-Schechter. 9) L'universo dopo la Ricombinazione. Gas intergalattico diffuso, righe d'assorbimento in spettri di quasar. Nubi Lyman-alpha. Barioni mancanti. Storia della formazione stellare e produzione di elementi. Radiazioni di fondo. Evoluzione di AGN e relazione con l'evoluzione delle galassie. Origine della funzione di massa delle galassie.

Modalità di esame:

Colloquio orale

Criteri di valutazione:

Si richiede una comprensione dei concetti fisici fondamentali che riguardano le tematiche del corso. Deduzioni fisico/matematiche sono opzionali (pur utili occasionalmente per ricostruire un certo processo). Lo studente dovrebbe dimostrare di poter rappresentare sinteticamente le principali modalità osservative alla base dei risultati.

Testi di riferimento:

Longair, Malcolm S., Galaxy Formation. Berlin: Springer, 2008 Peacock, John A., Cosmological Physics. Cambridge: Cambridge University Press, 2010 Schneider, Peter, Extragalactic Astronomy and Cosmology. Heidelberg: Springer, 2015

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Le dispense saranno consegnate all'inizio dell'insegnamento. Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

STELLAR ASTROPHYSICS

Titolare: Prof. ANTONINO MILONE

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Observations, experiments and interpretation

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Conoscenze di base di astrofisica stellare (fotometria e spettroscopia stellare, astrometria, evoluzione stellare).

Conoscenze e abilità da acquisire:

Durante il corso verranno acquisite le principali proprietà delle popolazioni stellari locali, negli ammassi stellari, nella Via Lattea e nelle galassie. Le studentesse e gli studenti del corso impareranno ad interpretare le osservazioni di popolazioni stellari e ad utilizzare queste informazioni per investigare e fare luce sulle principali problematiche dell'astrofisica stellare e della cosmologia.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali in inglese. Discussione di alcuni articoli fondamentali della letteratura scientifica su astrofisica e popolazioni stellari.

Contenuti:

1) Diagrammi colore-magnitudine: correzioni bolometriche trasformazioni luminosità-magnitudine e temperatura-colore, effetti dell'arrossamento interstellare. 2) Concetto di popolazione stellare: cenni storici, visione moderna. Ammassi stellari e popolazioni stellari semplici. La funzione di massa iniziale. 3) Determinazione dei parametri fisici e strutturali delle stelle e dei parametri principali delle popolazioni stellare (es. età, assorbimento, distanza) tramite fotometria. 4) Composizione chimica delle popolazioni spettrali. Applicazioni: il problema del litio cosmologico, stelle che ospitano pianeti. 5) Binarie, Blue Stragglers, Binarie X, buchi neri ed altri oggetti esotici in ammassi stellari. 7) Stelle di popolazione III. A caccia delle prime stelle dell'universo. 7) L'alone galattico - galassie ultra faint - galassie nane del gruppo locale - ammassi globulari. Popolazioni stellari multiple. Ramo orizzontale elio e il problema del secondo parametro. 8) Il Bulge galattico 9) Il disco galattico Ammassi aperti. Popolazioni stellari multiple in ammassi aperti e il fenomeno del turn off esteso. Popolazioni stellari nei dintorni del sole. 10) Formazione stellare nella Via Lattea e nelle galassie nane. 11) La via Lattea vista da Gaia

Modalità di esame:

Esame orale sugli argomenti trattati a lezione.

Criteri di valutazione:

Conoscenza degli argomenti del programma, capacità di esporli in modo adeguato e con linguaggio scientifico appropriato, atteggiamento critico nel discutere il confronto tra teoria e osservazioni.

Testi di riferimento:

Cassisi, Santi; Salaris, Maurizio, Old stellar populationshow to study the fossil record of galaxy formation Santi Cassisi and Maurizio Salaris. Weinheim: Wiley-VCH, 2013 Greggio, Laura; Renzini, Alvio, Stellar populationsa user guide from low to high redshiftrisorsa elettronica Laura Greggio and Alvio Renzini. Weinheim: Wiley-VCH, 2011 Greggio, Laura; Renzini, Alvio, Stellar populationsa user guide from low to high redshiftrisorsa elettronica Laura Greggio and Alvio Renzini. Weinheim: Wiley-VCH, 2011

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Materiale didattico del docente fornito attraverso il sito Moodle dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://elearning.unipd.it/dfa/>). I testi di riferimento consigliati possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

Curriculum: Theory and modelling

ADVANCED ASTROPHYSICS

Titolare: Dott. MICHELE TRABUCCHI

Periodo: I anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Theory and modelling

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Astrofisica generale, fondamenti di processi radiativi e di evoluzione stellare.

Conoscenze e abilità da acquisire:

Alla fine del corso, studenti/studentesse saranno in grado di: - riassumere le fasi principali dell'evoluzione stellare e descrivere i cambiamenti rilevanti della struttura stellare; interpretare l'evoluzione stellare sulla base dei principali processi fisici che hanno luogo negli interni stellari; distinguere i percorsi evolutivi di stelle di diversa massa iniziale; - inserire la pulsazione stellare nel contesto dell'evoluzione stellare; impostare il problema matematico delle pulsazioni a partire dalle equazioni di struttura stellare, caratterizzarne le soluzioni ed associarle ai processi fisici rilevanti; - illustrare la dinamica di base dei venti stellari; applicare la teoria dei venti stellari ai casi di venti coronali, "line-driven" e "dust-driven"; collegare ciascun meccanismo di vento stellare agli appropriati regimi di massa iniziale e fasi evolutive; valutare l'impatto della perdita di massa per vento stellare sull'evoluzione ed il destino finale delle stelle; - identificare i processi fisici caratterizzanti che distinguono l'evoluzione delle stelle massicce in contrasto con stelle di massa piccola e intermedia, in particolare in relazione ai venti stellari ed alla perdita di massa; descrivere la struttura pre-supernova delle stelle massicce in connessione all'insorgenza di instabilità dinamica; delineare la sequenza di eventi associata i meccanismi di esplosione di stelle massicce e molto massicce; fare previsioni realistiche sul destino finale di stelle massicce e molto massicce valutando criticamente l'impatto delle incertezze sui processi fisici rilevanti per la loro evoluzione.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

L'insegnamento si articola principalmente in lezioni frontali con metodologie classiche (lavagna) e multimediali (proiezione di slides e filmati). Le lezioni saranno inframezzate da attività di gruppo e/o individuali finalizzate alla valutazione dell'impegno ed alla valutazione formativa dell'apprendimento. Le lezioni sono tenute in inglese.

Contenuti:

Fondamenti di struttura ed evoluzione stellare. - Processi fisici principali negli interni stellari (equazione di stato, trasporto di energia, reazioni nucleari). - Equazioni differenziali della struttura ed evoluzione stellare. - Panoramica dell'evoluzione stellare in sequenza principale in funzione della massa iniziale. - Evoluzione avanzata di stelle di massa piccola e intermedia. Pulsazioni e variabilità stellare. - Panoramica della variabilità stellare, con particolare attenzione alla variabilità periodica ed alle stelle pulsanti. - Fondamenti di teoria delle pulsazioni stellari radiali; approssimazione di piccole oscillazioni, approccio perturbativo e linearizzazione; equazioni delle pulsazioni stellari; approssimazione adiabatica. - Effetti non-adiabatici e meccanismi di driving; instabilità da ionizzazione; elementi di astrosismologia e oscillazioni non-radiali; cenni agli effetti non-lineari. Venti stellari e perdita di massa. - Teoria dei venti stellari; venti isotermi ed equazione del momento; topologia delle soluzioni; generalizzazioni; venti coronali. - Venti "line-driven"; dinamica di base; accelerazione

radiativa in una riga spettrale; casi otticamente sottile e spesso; modelli a molte righe e formalismo di Castor, Abbott & Klein; applicazione a stelle calde e luminose. - Venti "dust-driven"; equazione del momento per gas e polvere; accoppiamento dinamico tra gas e polvere; velocità di deriva e forza di trascinamento; composizione chimica e proprietà ottiche dei grani di polvere; limite di scattering singolo; raggio di condensazione e temperatura della polvere; effetto della pulsazione nella regione subsonica; applicazione a stelle giganti rosse. Evoluzione e destino finale di stelle massicce e molto massicce. - Evoluzione avanzata di stelle massicce; meccanismi di perdita di massa; fasi "luminous blue variable" e stelle di Wolf-Rayet; cicli avanzati di bruciamento nucleare; effetti evolutivi della perdita di energia per emissione di neutrini; struttura pre-supernova. - "Core-collapse supernovae"; struttura ed instabilità del nucleo di ferro; collasso del nucleo e meccanismo di esplosione; "prompt mechanism", "neutrino trapping" e ripristino dell'esplosione per riscaldamento da neutrini; problematiche ed esempi di simulazioni dettagliate; "fallback" e criteri per esplosione; incertezze e loro impatto sul remnant stellare; ruolo della perdita di massa; cenni alle supernovae a cattura elettronica. - Stelle molto massicce; introduzione, popolazione III ed evidenze osservative; supernovae superluminose; ruolo della metallicità; supernovae ad instabilità di coppia; limiti su massa totale e massa del core; criteri di instabilità; supernovae a instabilità di coppia pulsazionale; nucleosintesi e "chemical yields"; remnants di stelle molto massicce.

Modalità di esame:

Esame scritto con domande aperte sugli argomenti trattati nell'insegnamento, finalizzato all'accertamento delle conoscenze acquisite, della loro comprensione, e della capacità di mettere in relazione i concetti appresi.

Criteri di valutazione:

La verifica di apprendimento sarà basata sui seguenti criteri: - completezza della conoscenza degli argomenti del corso - proprietà di terminologia scientifica - capacità di mettere coerentemente in connessione gli argomenti appresi - impegno nella partecipazione attiva durante le lezioni, in particolare nelle attività di gruppo - crescita e miglioramento rispetto alle valutazioni formative intermedie

Testi di riferimento:

Prialnik, Dina; Prialnik, Dina, introduction to the theory of stellar structure and evolution. Cambridge: Cambridge University Press, 2010 Kippenhahn, Rudolf; Weiss, Achim; Weigert, Alfred; Kippenhahn, Rudolf, Stellar structure and evolution. Heidelberg: Springer, 2012 Maeder, André; Maeder, André, Physics, formation and evolution of rotating stars. Berlin: Springer, 2009 Catelan, Márcio; Smith, Horace A.; Catelan, Márcio, Pulsating stars. Weinheim: Wiley-VCH, 2015 Cox, John P.; Cox, John P., Theory of stellar pulsation. Princeton, New Jersey: Princeton university press, 1980 Vink, Jorick S.; Vink, Jorick S., Very massive stars in the local universe. Cham, CH: Springer, 2015 Aerts, Conny; Christensen-Dalsgaard, Jorgen; Kurtz, Donald W.; Aerts, Conny, Asteroseismology. Dordrecht: Springer, 2010 Hansen, Carl J.; Kawaler, Steven D.; Trimble, Virginia; Hansen, Carl J., Stellar interiors physical principles, structure, and evolution. New York: Springer, 2013 Lamers, J. G. L. M.; Cassinelli, Joseph P.; Lamers, J. G. L. M., Introduction to stellar winds. Cambridge: Cambridge University Press, 1999 Salaris, Maurizio; Cassisi, Santi; Salaris, Maurizio, Evolution of stars and stellar populations. Chichester: Wiley, 2005

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento sono consigliati e non obbligatori e possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

COMPACT OBJECT ASTROPHYSICS

Titolare: Prof. ROBERTO TUROLLA

Periodo: Il anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Theory and modelling

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Elettrodinamica, Istituzioni di Astrofisica e Cosmologia, Relatività speciale

Conoscenze e abilità da acquisire:

Scopo del corso è di fornire agli studenti una panoramica delle proprietà osservative e della modellistica delle Sorgenti Compatte Galattiche di raggi X

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali con esercizi ed esempi. Le lezioni sono tenute in inglese.

Contenuti:

Oggetti Compatti. Fasi finali dell'evoluzione stellare. Core-collapse supernovae. Nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri. Complementi di Relatività Generale. Metrica esterna di Schwarzschild e sue proprietà. Moto geodetico in Schwarzschild. Metrica interna di Schwarzschild, strutture in equilibrio idrostatico, equazione di Tolman-Oppenheimer-Volkoff. Metrica di Kerr (cenni). Gas degeneri. Statistiche quantistiche (richiami). Equazioni di stato per un gas completamente degeneri; limite non-relativistico e ultra-relativistico. Massa di Chandrasekhar. Accrescimento su oggetti compatti. Oggetti compatti isolati ed in sistemi binari. Accrescimento sferico. Soluzione di Bondi-Hoyle. Efficienza, limite di Eddington. Geometria di Roche. Accrescimento wind- e Roche lobe-fed. Dischi di accrescimento. Il modello standard (alpha-disc). Spettro di radiazione per gli alpha-disc. Stelle di neutroni. Campo magnetico e rotazione. Frenamento magneto-rotazionale. Stime del campo magnetico e dell'età da misure del periodo e della derivata del periodo. Il diagramma P-Pdot. Magnetosfera, cilindro di luce. Correnti di Goldreich-Julian. Il raggio di Alfvén. Accrescimento su stelle di neutroni magnetizzate, colonne di accrescimento, lo strato limite. Struttura interna di una stella di neutroni. Configurazioni di equilibrio. Il diagramma massa-raggio. Neutronizzazione. Raffreddamento delle stelle di neutroni. Neutrino cooling: URCA e modified URCA. Cooling radiativo. Curve di cooling.

Modalità di esame:

Prova orale

Criteri di valutazione:

La prova orale è volta ad accertare l'acquisizione delle conoscenze di base dell'astrofisica relativistica, le capacità di ragionamento e di comprensione dello studente.

Testi di riferimento:

Nobili, L., Astrofisica relativistica : fondamenti di relatività generale e fluidodinamica relativistica. Padova: CLEUP, Frank, J., King, A.R., Raine, D.J., Accretion power in astrophysics. Cambridge: Cambridge University Press, Shapiro, S.L., Teukolsky, S.A., Black Holes, White Dwarfs, and Neutron Stars: The Physics of Compact Objects. Hamburg: Wiley,

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS

Titolare: Prof. ROBERTO TUROLLA

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Theory and modelling

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Elettrodinamica, relatività speciale, astrofisica generale

Conoscenze e abilità da acquisire:

Scopo del corso è di fornire agli studenti i fondamenti dei processi radiativi in un contesto astrofisico

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali con esercizi ed esempi in inglese.

Contenuti:

Il campo di radiazione Proprietà fondamentali della radiazione. L'intensità specifica e i suoi momenti. Emissione, assorbimento e scattering. Il trasporto radiativo. Radiazione termica. L'approssimazione di diffusione. Onde e particelle Onde elettromagnetiche piane. Polarizzazione, i parametri di Stokes. Potenziali elettromagnetici; il potenziale di Liènard-Wiechart per una carica. Radiazione da un sistema di cariche non-relativistiche, l'approssimazione di dipolo. Bremsstrahlung Emissione da un singolo elettrone. Emissione da una popolazione di elettroni termici. Assorbimento di Bremsstrahlung. Bremsstrahlung da cariche relativistiche (cenni). Scattering da elettroni liberi Scattering Thomson e Compton. Scattering su cariche in moto. Scattering multipli su elettroni termici non-relativistici. Comptonizzazione, il parametro y e l'equazione di Kompaneets. Comptonizzazione da cariche in moto ordinato. Radiazione di sincrotrone Potenza emessa per ciclotrone e sincrotrone. Spettro di sincrotrone per una singola carica e per una distribuzione di elettroni a legge di potenza. Polarizzazione della radiazione di sincrotrone. Auto-assorbimento di sincrotrone. Transizioni radiative Trattazione semi-classica. Coefficienti di Einstein e oscillatori. Regole di selezione. Probabilità di transizione, transizioni bound-bound and bound-free per l'idrogeno. Meccanismi di allargamento delle righe spettrali.

Modalità di esame:

Prova orale

Criteri di valutazione:

La prova orale è volta ad accertare l'acquisizione delle conoscenze di base dei processi radiativi in astrofisica, le capacità di ragionamento e di comprensione dello studente.

Testi di riferimento:

Rybicki, G.B, Lightman, A.P., Radiative processes in astrophysics. New York: Wiley, 1985

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). Il testo di riferimento può essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

THEORETICAL COSMOLOGY

Titolare: Prof. SABINO MATARRESE

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Theory and modelling

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

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 in inglese. 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 ? • Equazioni di Einstein perturbate al prim'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 ?! • 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. • Approccio basato sull'eq. di Schroedinger. 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 può 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:

Coles P. and Lucchin F., *Cosmology: The Origin and Evolution of Cosmic Structure*. Chichester: Wiley and Sons, 2001
Vittorio N., *Cosmology*. Boca Raton - London - New York: CRC Press - Taylor & Francis Group, 2018
Dodelson, S., *Modern Cosmology*. Amsterdam: Academic Press, 2003

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Gli appunti del docente sulla quasi totalità degli argomenti trattati sono messi a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

THEORETICAL PHYSICS

Titolare: Prof. FABIO APRUZZI

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Theory and modelling

Tipologie didattiche: 48A; 6,00

Prerequisiti:

Meccanica classica e quantistica.

Conoscenze e abilità da acquisire:

Il corso offre una prima introduzione alle teorie quantistiche di campo. La QFT è lo strumento computazionale moderno per accedere ai processi quantistici. Calcola scattering, decadimenti e altri processi delle particelle fondamentali, fornendo una previsione che può essere testata sperimentalmente. Questi processi appaiono anche in astrofisica (delle particelle), materia oscura, cosmologia. I modelli che descrivono questi sistemi si basano sulla QFT. Gli obiettivi principali del corso sono: - Apprendere la motivazione e le nozioni di base della QFT. - Comprendere come le particelle interagiscono e come le interazioni vengono descritte in modo coerente. - Essere in grado di calcolare i processi di base dell'elettrodinamica quantistica (QED).

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni alla lavagna o con iPad proiettato a seconda dell'aula. Le lezioni sono tenute in inglese.

Contenuti:

1. Meccanica classica e quantistica delle particelle. Lagrangiana, azione, principio di minima azione, Hamiltoniana, parentesi di Poisson, quantizzazione, simmetrie in meccanica quantistica, rappresentazioni di Schrödinger, Heisenberg e interazione. 2. Teoria classica dei campi. Derivata funzionale, principio di minima azione per i campi, Hamiltoniana, equazioni di Hamilton. 3. Simmetrie e leggi di conservazione. Teorema di Noether, simmetrie spazio-temporali e quantità conservate, simmetrie interne e cariche conservate. 4. Campo scalare. Campo scalare reale classico, equazione di Klein-Gordon e soluzione, quantizzazione canonica, ordinamento normale, spazio di Fock, causalità. Campo scalare complesso classico e quantistico, simmetria interna e carica conservata, propagatore scalare. 5. Spinori. Gruppo di Lorentz e sue rappresentazioni, campi spinoriali, Lagrangiana per un campo spinoriale di Dirac, soluzione generale dell'equazione di Dirac, proiettori di energia ed elicità, quantizzazione canonica per il campo di Dirac (e anticommutatori), propagatore fermionico, accoppiamento minimale e derivata covariante, limite non relativistico, fattore giromagnetico. 6. Campi vettoriali. Campo vettoriale classico, equazione di Proca, teoria classica del campo elettromagnetico, invarianza di gauge, gauge di Lorentz, fissaggio di gauge, densità lagrangiana ed hamiltoniana nel gauge di Feynman, soluzione generale, quantizzazione covariante, spazio di Fock e metrica indefinita, polarizzazioni non fisiche, condizione di Gupta-Bleuler, propagatore. 7. Interazioni. Interazioni in una teoria classica dei campi. Espansione della matrice S e probabilità di transizione. Prodotti-T. 8. QED. Espansione della matrice S in QED. Diagrammi di Feynman in spazio e momento, processi di scattering 2->2. Autoenergie di fotoni ed elettroni. Lo scattering Compton. Regole di Feynman per la QED. Sezione d'urto.

Modalità di esame:

Orale. Domande sul materiale svolto a lezione e esercizi dati da svolgere a casa

Criteri di valutazione:

Conoscenza e comprensione degli argomenti del corso. Capacità di risolvere problemi elementari legati alle tematiche del corso.

Testi di riferimento:

Greiner, Reinhardt, *Field Quantization*. : Springer, 1995
Mandl, Franz; Shaw, Graham, *Quantum field theory*. Hoboken: John Wiley, 2010
Peskin, Michael E., *Introduction to quantum field theory*. Reading, Mass. [etc: Addison-Wesley, 1995
Weinberg, Steven, *Quantum theory of fields*. Cambridge: Cambridge university press, 1998
Greiner, Walter, *Relativistic quantum mechanics wave equations*. Berlin [etc: Springer, 2000

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Utili per il corso sono anche le note di D. Tong e referenze che si possono trovare <https://www.damtp.cam.ac.uk/user/tong/qft.html> Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti attraverso il sito web dell'insegnamento raggiungibile dalla piattaforma e-learning del Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" (<https://stem.elearning.unipd.it/>). I testi di riferimento possono essere consultati presso la Biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia.