



UNIVERSITÀ
degli STUDI
di CATANIA

DIPARTIMENTO DI FISICA ED ASTRONOMIA

Corso di laurea magistrale in Physics

Anno accademico 2021/2022 - 2° anno - Curriculum

ASTROPHYSICS

EXTRAGALACTIC ASTRONOMY AND COSMOLOGY

FIS/05 - 6 CFU - 1° semestre

Docente titolare dell'insegnamento

ANTONINO DEL POPOLO

Email: adelpopolo@oact.inaf.it

Edificio / Indirizzo: Osservatorio Astronomico di Catania

Telefono: +39 0957332-315; 3663705681

Orario ricevimento: 15-17

OBIETTIVI FORMATIVI

ASTRONOMIA EXTRA-GALATTICA E COSMOLOGIA e' un corso della laurea magistrale in Fisica pensato per fornire una introduzione all'astronomia extra-galattica e alla cosmologia.

Il corso fornisce un background di astronomia extragalattica e cosmologia moderna. Dopo una overview delle proprietà delle galassie, ammassi, struttura a larga scala dell'universo, il corso presenterà una descrizione della cosmologia newtoniana e relativistica e della formazione di struttura in un universo in espansione accelerata (dominato da materia ed energia oscura).

In riferimento ai cosiddetti **Descrittori di Dublino**, questo corso contribuisce a acquisire le seguenti competenze:

Conoscenza e capacità di comprensione:

- Comprensione critica degli sviluppi più avanzati della Fisica Classica e Moderna, anche in campi interdisciplinari.
- Notevole padronanza del metodo scientifico, e comprensione della natura e dei procedimenti della ricerca in Fisica.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione:

- Capacità di identificare gli elementi essenziali di un fenomeno, in termini di ordine di grandezza e di livello di approssimazione necessario, ed essere in grado di effettuare le approssimazioni richieste.
- Capacità di utilizzare lo strumento della analogia per applicare soluzioni conosciute a problemi nuovi (problem solving).
- Capacità di utilizzo di strumenti di calcolo matematico analitico e numerico e delle tecnologie informatiche, incluso lo sviluppo di programmi software

Autonomia di giudizio:

- Capacità di argomentare personali interpretazioni di fenomeni fisici, confrontandosi nell'ambito di gruppi di lavoro.

Abilità comunicative:

- Capacità di comunicare in lingua italiana e in lingua inglese nei settori avanzati della Fisica.
- Capacità di presentare una propria attività di ricerca o di rassegna a un pubblico di specialisti o di non addetti ai lavori.

Capacità di apprendimento:

- Capacità di acquisire adeguati strumenti conoscitivi per l'aggiornamento continuo delle conoscenze.
- Capacità di accedere alla letteratura specializzata sia nel campo prescelto che in campi scientificamente vicini.
- Capacità di utilizzare banche dati e risorse bibliografiche e scientifiche per estrarne informazioni e spunti atti a meglio inquadrare e sviluppare il proprio lavoro di studio e di ricerca.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lezioni frontali, esercizi, esame a meta' corso, esame finale

PREREQUISITI RICHIESTI

Sono richieste la conoscenza del calcolo differenziale, la fisica I, II, meccanica statistica, i principali processi astrofisici ed una familiarità generale con i principi e la nomenclatura astronomica che si assume siano stati appresi nel corso di astronomia generale. Il corso non richiede la conoscenza della relatività generale. Onde necessario, i concetti base verranno introdotti.

FREQUENZA LEZIONI

Obbligatoria

CONTENUTI DEL CORSO

1. Galassie, Generalità

Dibattito Shapley-Curtis. Classificazione delle galassie.

Diagramma a forchetta di Hubble. Variazione delle caratteristiche fisiche delle galassie nel diagramma di Hubble. Classificazione a pettine (Atlas3D).

Proprietà delle galassie spirali. Correzione K e della brillantezza del background. Profilo di Sersic e de Vaucouleurs. Curve di rotazioni. Materia Oscura. Teorema del Viriale e applicazioni. Relazione di Tully

Fisher.

Relazione raggio-luminosità, masse, rapporto M/L, colori ed abbondanza di gas e polveri, gradienti di metallicità e colori nelle spirali. Relazione massa BH e dispersione delle velocità. Frequenza ammassi globulari. Struttura a spirale e teoria di Lin-Shu.

Galassie ellittiche: morfologia, relazioni di scala (Faber-Jackson; Piano Fondamentale). Colori ed abbondanza di gas e polveri, gradienti di metallicità e colori nelle ellittiche. Effetti della presenza ed assenza di rotazione

2. **Formazione, Dinamica ed evoluzione galattica**

Sistemi non collisionali e tempo di rilassamento. La funzione di distribuzione. Equazione di Boltzman e di Jeans. Esempi: sfera isoterma. Densità, massa, velocità dalla fotometria. Potenziale gravitazionale di sistemi semplici.

Evoluzione galattica Interazione tra galassie: evidenza delle interazioni. Frizione dinamica. Incontri rapidi; approssimazione dell'impulso. Simulazioni delle interazioni. Galassie Starbursts. Mergers in ellittiche e cD. Merger di buchi neri. Formazione galattica: modello ELS. Problemi col modello ELS. Problema delle nane-G. Modello di collasso dissipativo.

Modello di formazione gerarchica. Formazione della MW nel modello gerarchico. Formazione delle galassie ellittiche. Formazione galattica nell'universo primordiale. Relazione morfologia-distanza, Effetto Butcher-Oemler.

Formazione di strutture nel modello Λ CDM. Breve storia dell'universo. Perturbazioni di densità. Crescita lineare e non lineare delle perturbazioni. Problemi del modello Λ CDM (galaxy down-sizing; cusp-core problem; missing satellite problem; too-big-to-fail problem). Feedback di SN e AGN.

3. **Nuclei galattici attivi.** Galassie di Seyfert. Spettro degli AGN. Emissione X, termica (IR), radio (radiazione di sincrotrone). Quasars: scoperta, luminosità.

Spettro dei quasars. QSRs e QSOs. ULIRGs. Evoluzione dei quasars. Variabilità, polarizzazione dell'emissione, classi FR I e FR II. Blazars, LINERs. Radio galassie: struttura, lobi, jets, moti superluminali,

Modello unificato dei quasars: la natura del motore centrale, produzione energia, Accrezione e luminosità, struttura del disco di accrescimento, generazione dei getti (meccanismo di Blandford-Znajek), broad e wide line regions. Radio lobi e getti: formazione dei getti e dei lobi. Accelerazione delle particelle. Accelerazione delle particelle nei getti. Velocità superluminali, modello di Rees. One sided jets ed effetti relativistici. Evoluzione degli AGN. Quasars come probe dell'universo. Lensing. Lyman α Forest.

4. **Buchi neri**

Principio di equivalenza e GR. Tests della GR. Buchi neri stellari, di massa intermedia e supermassicci. Buchi neri nella GR. Geometria di Schwarzschild e Kerr. Orbite e stabilità. Effetti osservabili. Quantum gravity e

radiazione di Hawking. Evidenze dell'esistenza dei BHs. Dinamica stellare e moti di particelle di test (es., Stella S2). Megamasers di H₂O. Dinamica del gas..

5. La scala delle distanze cosmiche ed i suoi gradini.

Cenni storici alla determinazione delle distanze e delle dimensioni degli oggetti del sistema solare (Rung 1: Terra; Rung 2: Luna; Rung 3: Sole; Rung 4: i pianeti; Rung 5: velocità della luce; Rung 6: stelle vicine: parallassi; parallassi statistiche e secolari; Rung 7: stelle a distanza intermedia: parallassi spettroscopiche (main sequence fitting). Rung 8: stelle distanti: Cefeidi; effetto Wilson-Bappu; metodi basati sulle supernovae; Novae. Indicatori secondari: Ammassi globulari; Nebulose planetarie; regioni HII; metodo delle fluttuazione di brillantezza superficiale; Tully-Fisher; Faber-Jackson; $D-\sigma$; galassie più brillanti in un ammasso; Rung 9: legge di Hubble, costante di Hubble e suo valore. Espansione dell'universo e flusso di Hubble. Redshift cosmologico vs. doppler.

6. Struttura a larga scala

Gerarchia delle strutture cosmiche. Ammassi: classificazione ed esempi (ammasso della Vergine, Coma). Plasma negli ammassi. Bremsstrahlung. Equilibrio idrostatico e massa. Sottostruttura. Effetto Sunyaev-Zeldovich. Massa viriale e DM. Il gruppo locale ed altri gruppi in 10 Mpc. Campi di velocità su larga scala. Velocità peculiari. Dipolo CMB. Infall verso Virgo e moti verso Hydra-Centauro, e la concentrazione di Shapley. Grande attrattore. Redshift surveys (2dF; SDSS; CfA). Superclusters: il supercluster locale e superclusters vicini. Struttura della LSS (ammassi, superammassi, voids, filamenti). Metodi di quantificazione della LSS: funzione di correlazione di due punti, spettro. Galaxy biasing, evoluzione del clustering.

7. Cosmologia Newtoniana

Il paradosso di Olbers. Il principio cosmologico. Modello di universi di polvere (senza pressione) e sua evoluzione. Età di un universo di polvere. Lookback time. Estensione del modello di polvere ad includere la pressione. La radiazione di fondo a microonde (CMB). Teoria dello stato stazionario. Raffreddamento dell'universo dopo il Big Bang. Scoperta della CMB. Anisotropia di dipolo della CMB. Effetto Sunyaev-Zel'dovich. Effetto Sachs-Wolfe. Armoniche cosmiche e oscillazioni acustiche. Un modello semplice delle oscillazioni acustiche. Spettro TT della CMB. Polarizzazione della CMB. BAOs. Universo con due componenti materiali: materia (barioni e DM), particelle relativistiche. Disaccoppiamento dei neutrini. Densità di energia delle particelle relativistiche. Transizione da era della radiazione a era della materia. Evoluzione del modello a due componenti. Nucleosintesi e origine della CMB. Superficie di ultimo scattering.

8. Cosmologia Relativistica

La geometria euclidea, ellittica ed iperbolica. Metrica di Robertson-Walker. Equazioni di Friedman. La costante cosmologica e l'energia oscura. L'era di Λ . Cosmologia Osservativa. L'origine del redshift cosmologico. Distanza di oggetti remoti nell'universo. Orizzonte della particella e distance horizon. Tempo di arrivo dei fotoni. Massima età di una sorgente visibile. Coordinate comoventi. Distanza propria e di luminosità. Relazione redshift- magnitudine. Distanza del diametro angolare.

L'Universo primordiale

Very early universe ed inflazione. HDM e CDM. Scala di Planck di masse, tempi e distanze. Unificazione e rottura spontanea di simmetria. Problemi della teoria standard del Big Bang. Particelle virtuali ed energia del vuoto. Problema della costante cosmologica. Soluzioni ai problemi della teoria standard del Big Bang. Asimmetria materia antimateria. La CMB e il decoupling di materia e radiazione. Origine delle strutture cosmiche. Fluttuazioni di densità adiabatiche e isoterme. Massa di Jeans nelle varie epoche cosmologiche. Oscillazioni acustiche e loro damping. Timing della formazione delle strutture. I modelli top down e bottom up di formazione di struttura.

TESTI DI RIFERIMENTO

Testi di riferimento

Bradley W. Carrol, Dale A. Ostlie, An introduction to modern astrophysics

P. Schneider Extragalactic Astronomy and Cosmology. An Introduction. Springer

M. Longair Galaxy Formation Springer

M. Roos, Introduction to Cosmology, third edition

J. V. Narlikar, An Introduction to Cosmology 3rd Edition

J. Binney & S. Tremaine Galactic Dynamics Princeton University Press

ALTRO MATERIALE DIDATTICO

Testi di Riferimento (sezione precedente)

PROGRAMMAZIONE DEL CORSO

Argomenti	Riferimenti testi
1 1. Galassie, Generalita'	Bradley W. Carrol, Dale A. Ostlie
2 2. Formazione, Dinamica ed evoluzione galattica	M. Longair Galaxy Formation Springer; J. Binney & S. Tremaine Galactic Dynamics Princeton University Press
3 3. Nuclei galattici attivi.	Bradley W. Carrol, Dale A. Ostlie
4 4. Buchi neri	P. Schneider Extragalactic Astronomy and Cosmology. An Introduction. Springer
5 5. La scala delle distanza cosmiche ed i suoi gradini.	Bradley W. Carrol, Dale A. Ostlie; P. Schneider Extragalactic Astronomy and Cosmology. An Introduction. Springer

6	6. Struttura a larga scala	P. Schneider Extragalactic Astronomy and Cosmology. An Introduction. Springer
7	7. Cosmologia Newtoniana	Bradley W. Carrol, Dale A. Ostlie
8	8. Cosmologia Relativistica	Bradley W. Carrol, Dale A. Ostlie; P. Schneider Extragalactic Astronomy and Cosmology. An Introduction. Springer
9	9. L'Universo primordiale	M. Roos, Introduction to Cosmology, third edition J. V. Narlikar, An Introduction to Cosmology 3rd Edition

VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

MODALITÀ DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Esame orale a meta' corso ed esame orale finale sul materiale trattato nel corso

ESEMPI DI DOMANDE E/O ESERCIZI FREQUENTI

Vedi Brasley, Carrol. Ostley (An introduction to modern astrophysics): Esercizi e Domande
