UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Relativistic Astrophysics

2122-1-F5802Q003

Obiettivi

Applicazione di concetti fondamentali di relativita` speciale e generale al campo dell'astrofisica
Alla fine del corso gli studenti:
1- avranno una conoscenza di base dei concetti fondamentali di relativita` speciale e generale
2- conosceranno le principali soluzioni delle equazioni di Einstein nel vuoto (Schwarzschild/Kerr) e con materia (TOV equations) e le loro proprieta` essenziali
3- conosceranno le basi del concetto di lente gravitazionale
4- saranno familiari con la fisica di oggetti compatti quali nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri e vedranno i fondamenti del timing di pulsar al millisecondo come test della Relativita` Generale
5- conosceranno le basi della fisica dell'accrescimento su oggetti compatti e della dinamica di luce e particelle in spazi-tempo curvi
6- avranno un quadro generale della formazione, evoluzione e dinamica di buchi neri supermassivi
7- apprenderanno nozioni basilari di onde gravitazionali

Contenuti sintetici

1- Cenni di relativita` speciale e generale
2- Fisica degli oggetti compatti
3- Orbite in metriche di Schwarzschild e Kerr
4- Lensing gravitazionale
5- Timing di pulsar al millisecondo
6- Teoria dell'accrescimento
7- Formazione ed evoluzione di buchi neri supermassivi
8- Dinamica di sistemi binari (stellari e supermassivi)
9- Onde gravitazionali da sistemi binari

Programma esteso

I- RIEPILOGO RELATIVITA` SPECIALE E GENERALE

- spaziotempo,
- trasformazioni di Lorentz
- invarianti relativistici, massa-energia
- principio di equivalenza
- simmetrie e Killing vectors
- equazioni di Einstein

II- SOLUZIONI DELLE EQUAZIONI DI EINSTEIN

- soluzioni notevoli nel vuoto: metriche di Schwarzschild e Kerr
- equazioni del moto relativistiche
- moto di particelle con e senza massa nelle suddette metriche
- potenziale relativistico, anello di luce e ultima orbita stabile
- deflessione della luce e precessione del periastro
- caduta radiale in un campo gravitazionale
- Shapiro delay
- soluzioni con materia ed equazioni di TOV
- soluzione di Schwarzschild con materia

III- LENTI GRAVITAZIONALI

- derivazione della deflessione della luce da principio variazionale
- equazione della lente
- lenti puntiformi e immagini multiple
- applicazioni astrofisiche

IV- EMISSIONE DI ONDE GRAVITAZIONALI

- linearizzazione delle equazioni di Einstein
- soluzione generale delle equazioni nel vuoto (cenni)
- rivelazione di onde gravitazionali tramite interferometri
- soluzione per sistemi binari (cenni)
- panoramica delle sorgenti astrofisiche

V- TIMING DI PULSAR AL MILLISECONDO

- introduzione al concetto di timing di una pulsar
- derivazione della formula per i tempi di arrivo delle pulsazioni di una pulsar in un sistema binario
- test di Relativita` Generale e sistemi notevoli

VI- FORMAZIONE, EVOLUZIONE E DINAMICA DI BUCHI NERI MASSICCI (MBH)

1- Prime strutture barioniche: formazione dei buchi neri 'seme'

- cenni di evoluzione cosmica delle strutture
- modelli di formazione di semi
    - resti di stelle di terza generazione
    - collasso diretto

2- Crescita di MBH lungo la storia cosmica

- introduzione ai percorsi di crescita di MBH, teoria dell'accrescimento
    - accrescimento sferico (Bondi)
    - accrescimento a disco (Shakura-Sunyev)
    - implicazioni per la crescita della massa dell'MBH e l'evoluzione dello spin
- argomento di Soltan
- relazioni di scala tra MBH e galassie ospiti

- fusione di galassie e MBH binari

3- Formazione e evoluzione dinamica di buchi neri massicci binari (MBHB)
- la frizione dinamica di Chandrasekhar
    - applicazione pratica alla sfera isotermica
- restringimento della binaria in ambienti densi
    - interazione con stelle
    - interazione con dischi circumbinari
- emissione di onde gravitazionali e fusione

Prerequisiti

Nessuno in particolare, al di la` dei corsi fondamentali della trimestrale

Modalità didattica

56 ore di lezioni frontali, prevalentemente alla lavagna e occasinalmente col supporto di diapositive.

Le lezioni saranno in lingua inglese.

Materiale didattico

Il materiale di supporto verra` caricato mano a mano su e-learing. Segue comunque una lista (incompleta) di referenze utili.

I- RIEPILOGO RELATIVITA` SPECIALE E GENERALE
A first course of General Relativity, B. Schutz
Notes on General Relativity and gravitational waves, V. Ferrari (saranno distribuite su e-learning durante il corso)

II- OGGETTI RELATIVISTICI NELL'UNIVERSO
Black holes, white dwarfs and neutron stars: the physics of compact objects, S. Shapiro and Teukolsky

III- DINAMICA RELATIVISTICA E TEORIA DELL'ACCRESCIMENTO
Black holes, white dwarfs and neutron stars: the physics of compact objects, S. Shapiro and Teukolsky
J. Frank, A. King, D. Raine, "Accretion power in astrophysics": http://qxyang.lamost.org/uploads/books/Accretion_Power_in_Astrophysics.pdf

IV- FORMAZIONE, EVOLUZIONE E DINAMICA DI BUCHI NERI MASSICCI (MBH)

1-Evoluzione delle strutture cosmiche
Barbara Ryden, "Introduction to cosmology", Chapter 12: http://carina.fcaglp.unlp.edu.ar/extragalactica/Bibliografia/Ryden_IntroCosmo.pdf
Abraham Loeb, "First Light": https://arxiv.org/abs/astro-ph/0603360
Jarle Brinchmann, galaxy formation lectures: https://home.strw.leidenuniv.nl/~jarle/Teaching/GalaxyFormation/Lectures/

2-Prime strutture barioniche: formazione dei buchi neri 'seme'
Marta Volonteri, "Formation of supermassive black holes": https://arxiv.org/abs/1003.4404
Yoshida et al., "Formation of Primordial Stars in a LCDM Universe": https://arxiv.org/abs/astro-ph/0606106
Marta Volonteri & Bernadetta Devecchi, "Formation of the first nuclear clusters and massive black holes at high

redshift" https://arxiv.org/abs/0810.1057

3-Crescita di MBH lungo la storia cosmica
Celoria et al., "Lecture notes on black hole binary astrophysics": http://adsabs.harvard.edu/abs/2018arXiv180711489C
King et al., "Aligning spinning black holes and accretion discs": http://adsabs.harvard.edu/abs/2005MNRAS.363...49K
J. Binney & S. Tremaine, "Galactic Dynamics", 1987 (dynamical friction, loss cone theory, stellar hardening)
D. Merritt, "Dynamics and Evolution of Galactic Nuclei", 2013 (dynamical friction, loss cone theory, stellar hardening)

4-Formazione e evoluzione dinamica di buchi neri massicci binari (MBHB)
Celoria et al., "Lecture notes on black hole binary astrophysics": http://adsabs.harvard.edu/abs/2018arXiv180711489C
J. Binney & S. Tremaine, "Galactic Dynamics", 1987 (dynamical friction, loss cone theory, stellar hardening)
D. Merritt, "Dynamics and Evolution of Galactic Nuclei", 2013 (dynamical friction, loss cone theory, stellar hardening)

V- ONDE GRAVITAZIONALI DA SISTEMI BINARI
Valeria Ferrari lecture notes (rese disponibili su e-learning)
Michele Maggiore: "Gravitational Waves". Book 2, 2018

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Primo semestre.

Modalità di verifica del profitto e valutazione

Esame orale. Allo studente verra` prima richiesto di elaborare su un argomento a scelta per circa 15-20 minuti. A seguito ci saranno altre domande a scelta del docente che possono spaziare su qualsiasi argomento trattato durante il corso.

Non sono previsti esami/compiti parziali durante lo svolgimento delle lezioni.

Orario di ricevimento

Qualsiasi giorno, previo appuntamento via email. Generalmente uso Google Meet per gli incontri in remoto.