UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Relativistic Astrophysics

2526-1-F5803Q003

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

42 ore di lezioni frontali, prevalentemente alla lavagna e occasinalmente col supporto di diapositive (6 crediti)
20 ore di esercitazioni e attivita' di supporto (2 crediti)
Le lezioni saranno in lingua inglese.
Registazioni delle lezioni (o di lezioni equivalenti degli anni precedenti) saranno rese disponibili per venire incontro alle esigenze di studenti con problemi di frequentazione.

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:

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

redshift"

3-Crescita di MBH lungo la storia cosmica
Celoria et al., "Lecture notes on black hole binary astrophysics":
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.

Nell'esame verranno valutate:
-l'apprendimento dei concetti studiati a lezione
-la capacita di condurre derivazioni analitiche
-la capacita' di affrontare in modo critico problemi attinenti al materiale studiato in classe

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.

Sustainable Development Goals