UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Astrofisica delle Onde Gravitazionali

2021-1-F5801Q051

Obiettivi

Acquisire conoscenze di base nel campo delle Onde gravitazionali, che si sono recentemente confermate essere uno strumento straordinario per la comprensione dell'universo e degli oggetti che lo popolano.
Alla fine del corso gli studenti:
- sapranno derivare la formula generale per l'ampiezza di un'onda gravitazionale
- conosceranno le principali sorgenti di onde gravitazionali e il tipo di segnali che emettono
- conosceranno i principali metodi di osservazione delle onde gravitazionali, e il tipo di segnali che osservano
- avranno una comprensione basilare dei concetti di analisi dati Bayesiana rilevanti per l'osservazione delle onde gravitazionali e l'estrazione dei parametri delle sorgenti

Contenuti sintetici

1- teoria dell'emissione di onde gravitazionale
2- metodi di rivelazione: interferometri e pulsar timing
3- sorgenti astrofisiche di onde gravitazionali e i loro segnali
4- le bande dello spettro delle onde gravitazionali e gli osservatori che le coprono: LIGO/Virgo, LISA, PTAs
5- fondamenti di analisi dati per onde gravitazionali

Programma esteso

1- Teoria dell'emission delle onde gravitazionali

- linearizzazione delle equazioni di Einstein
- derivazione generale dello strain nel TT-gauge
- polarizzazioni dell'onda ed effetto su un ensemble di masse in caduta libera

2- Segnali di onde gravitazionali da sistemi binari

- derivazione pratica del segnale per un sistema binario
- energia trasportata dall'onda ed evoluzione del sistema binario
- sistemi binari come sirene standard
- zoologia dei segnali da binarie:
    - sorgenti monocromatiche
    - sorgenti che evolvono (chirps)
    - sovrapposizione incoerente di sorgenti e background stocastici

3- Astrofisica delle principali sorgenti di onde gravitazionali

- sistemi binari di massa stellare (nane bianche, stelle di neutroni, buchi neri)
- sistemi binari di buchi neri massicci
- extreme mass ratio inspirals (sistemi che coinvolgono un buco nero massiccio e un oggetto compatto di massa stellare)

4- Rivelazione di onde gravitazionali da sistemi binari

- interferometri: principio di osservazione e risposta del detector
- LIGO: sorgenti osservate ed esempi notevoli: GW150914, GW170817
- LISA (Laser interferometer space antenna): sorgenti e rates aspettati:
    - buchi neri binari supermassivi
    - oggetti galattici compatti (binarie di nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri)
    - extreme mass ratio inspirals
- pulsar timing array (PTA):
    - principio di osservazione
    - risposta a sorgente singola e a un background stocastico (Hellings&Downs curve)
    - calcolo del rapporto segnale su rumore per i diversi tipi di segnale.

5- Analisi dati Bayesiana per onde gravitazionali

- il concetto di segnale su rumore
- match filtering
- statistica frequentista e Bayesiana
- concetto di likelihood, prior e posterior
- stima dei parametri della sorgente

Prerequisiti

Nessuno, al di la` dei corsi di base della triennale.

E` consigliato seguire il corso dopo aver seguito Astrofisica Relativistica. Alcuni dei concetti sviluppati nel corso risulteranno poi di piu` facile assimilamento se gli studenti avranno anche seguito il corso facoltativo di Relativita` Generale. Si rimarca tuttavia che seguire quel corso non e` un requisito necessario, dato che il corso sara` largamente auto-consistente.

Modalità didattica

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

Se l'emergenza COVID dovesse persistere nel secondo semestre, le lezioni verranno registrate e distribuite in remoto tramite la piattaforma e-learning.

Materiale didattico

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

1- Teoria dell'emission delle onde gravitazionali
Valeria Ferrari lecture notes (saranno distribuite durante il corso su e-learning)

2- Segnali di onde gravitazionali
S. Phinney, "A Practical Theorem on Gravitational Wave Backgrounds": https://arxiv.org/abs/astro-ph/0108028
A. Sesana, "Gravitational wave emission from binary supermassive black holes": https://arxiv.org/abs/1307.4086
Michele Maggiore: "Gravitational Waves". Book 2, 2018

3- Rivelazione di onde gravitazionali
Perrodin & Sesana, "Radio Pulsars: Testing Gravity and Detecting Gravitational Waves": https://arxiv.org/abs/1709.02816
Michele Maggiore: "Gravitational Waves". Book 2, 2018

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Secondo 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.

Se la situazione COVID persistera` nel secondo semestre, gli esami si svolgeranno in remoto utilizzando la piattaforma Zoom.

Orario di ricevimento

Qualsiasi giorno, previo appuntamento via email.

Se la situazione COVID persistera` nel secondo semestre, gli incontri si svolgeranno in remoto utilizzando la piattaforma Zoom.