UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

COURSE SYLLABUS

Astrophysics of Gravitational Waves

2223-1-F5802Q008

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.
Le lezioni si svolgeranno 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.

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":
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":
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.

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.

Sustainable Development Goals

ISTRUZIONE DI QUALITÁ | IMPRESE, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE