

Dipartimento di Fisica
Anno accademico 2022/2023

Advanced Topics in Theoretical Physics [146109]

Nessun partizionamento

Corso di studio FISICA
Ordinamento FISICA
Percorso standard

Docenti: SUNNY VAGNOZZI (Tit.), MASSIMILIANO RINALDI

Numero ore: 48

Periodo: Secondo Semestre

Crediti: 6

Settori: FIS/02

Obiettivi formativi e risultati di apprendimento attesi

<p>Il corso coprirà le basi della cosmologia, con lo scopo di fornire agli studenti una visione moderna e il più completa possibile dell'evoluzione, del contenuto, e del futuro dell'Universo. Nel corso degli ultimi anni, grazie a una serie di dati osservazionali sempre più precisi, in cosmologia abbiamo assistito alla nascita del cosiddetto "modello standard Λ CDM", che fornisce una descrizione abbastanza completa di una serie di processi fisici occorsi fin dai primi istanti di esistenza dell'Universo. Il corso fornirà agli studenti le basi per comprendere il modello Λ CDM, evidenziandone allo stesso tempo le lacune e quindi permettendo agli studenti di apprezzare le frontiere di ricerca attuali della cosmologia, in particolare per quanto riguarda studi sulla natura della materia oscura ed energia oscura che costituiscono il 95% dell'energia dell'Universo, e sul periodo di inflazione cosmica. Particolare attenzione verrà prestata allo studio dell'evoluzione delle perturbazioni cosmologiche (in gauge Newtoniana) intorno all'Universo omogeneo e isotropo, le quali sono uno strumento assolutamente necessario per poter comprendere appieno le osservazioni cosmologiche che hanno portato allo sviluppo del modello Λ CDM, ad esempio misure della radiazione cosmica di fondo e della struttura su grande scala. Completato il corso, gli studenti avranno una visione d'insieme coerente della storia dell'Universo, saranno in grado di risolvere semplici problemi di natura cosmologica, conosceranno le osservazioni che hanno portato allo sviluppo del modello Λ CDM nonché le limitazioni di quest'ultimo, avranno gli strumenti necessari per applicare le conoscenze acquisite a dati cosmologici reali, e qualora lo volessero saranno pronti a esplorare più in dettaglio le frontiere di ricerca attuali.</p>

Prerequisiti

<p>Dal punto di vista della conoscenza della fisica, lo studente deve avere familiarità con la Relatività Ristretta, con particolare attenzione a quanto riguarda la manipolazione dei quadrivettori. Familiarità con la Relatività Generale, e in particolare un'infarinatura di calcolo tensoriale, sono utili ma non indispensabili, in quanto le prime ore del corso forniranno un ripasso di quest'ultima. Familiarità con gli strumenti della QFT (in particolare la derivazione delle equazioni del moto a partire da una Lagrangiana, nonché le proprietà dei campi scalari) è richiesta soprattutto per quanto riguarda la parte del corso che copre l'inflazione cosmica. Dal punto di vista matematico, la familiarità con le differenziali ordinarie e alle derivate parziali fino al secondo ordine aiuta. Infine, una buona dose di intuito fisico può ritornare particolarmente utile.</p>

Contenuti/programma del corso

<p>0. Introduzione alla cosmologia moderna, cenni/anticipazioni sul contenuto del resto del corso, particolarmente per quanto riguarda l'espansione dell'Universo, il concetto di redshift, la legge di Hubble, l'inflazione cosmica, la materia oscura e l'energia oscura, il modello Λ CDM e le osservazioni che hanno portato allo sviluppo dello stesso.</p><p>1. Breve ripasso di Relatività Generale</p><p>2. L'Universo omogeneo, isotropo, e in equilibrio; principio cosmologico; modelli di Friedmann-Lemaitre-Robertson-Walker, Einstein e de Sitter; condizioni di energia;

prima e seconda equazione di Friedmann, e soluzioni delle stesse in presenza di modelli di fluido con diverse equazioni di stato; distanze nell'Universo in espansione

3. L'Universo fuori equilibrio; introduzione alle equazioni di Boltzmann; applicazioni alla Big Bang Nucleosynthesis e quindi alla produzione di elementi leggeri, alla ricombinazione e quindi alla formazione di atomi di Idrogeno, e alla produzione di materia oscura da freeze-out.

4. Equazioni di Boltzmann, con applicazione di esempio all'oscillatore armonico; equazioni di Boltzmann "collisionless"; termine di collisione per Compton scattering; derivazione delle equazioni di Boltzmann per fotoni, materia oscura, e materia visibile ("barioni").

5. Perturbazioni alle equazioni di Einstein; cenni alle trasformazioni di gauge e al teorema di decomposizione.

6. Condizioni iniziali per l'evoluzione delle perturbazioni; problemi dell'orizzonte e della piatezza; pressione negativa ed inflazione cosmica; modelli di inflazione cosmica basati su campi scalari; produzione di perturbazioni scalari e tensoriali (onde gravitazionali) durante l'inflazione cosmica, e caratteristiche delle stesse (indici spettrali e tensor-to-scalar ratio).

7. Evoluzione delle perturbazioni cosmologiche su scale grandi e piccole; spettro di potenza della materia; estensioni ad altri traccianti della rete cosmica (ad es. galassie)

8. Anisotropie ed evoluzione delle stesse; spettro di anisotropie della radiazione cosmica di fondo/fondo cosmico a microonde (CMB); determinazione di parametri cosmologici dalla CMB.

9. Modello Λ CDM; osservazioni che hanno portato allo sviluppo di quest'ultimo; limitazioni del modello Λ CDM.

10. Qualora vi fosse ancora tempo, altri argomenti che possono essere trattati includono: weak lensing; polarizzazione della CMB; metodi statistici per l'analisi di dati cosmologici; modelli concreti di materia oscura ed energia oscura; grandi problemi aperti in cosmologia, tra i quali la cosiddetta "tensione di Hubble".

Metodi didattici utilizzati e attività di apprendimento richieste allo studente.

Il corso è strutturato in 48 ore di lezione (pari a 6 CFU) distribuite settimanalmente in due blocchi da due ore. Le lezioni sono di tipo frontale con l'ausilio di lavagna ed eventualmente di trasparenze proiettate tramite PC. Alcune delle derivazioni matematicamente più complesse del corso saranno volutamente lasciate aperte (citando solo i risultati finali), e sarà cura dello studente completare le derivazioni lasciate aperte, al fine di acquisire ulteriore familiarità con gli strumenti tecnici della materia.

Metodi di accertamento e criteri di valutazione

L'esame sarà orale e verterà sul materiale effettivamente presentato a lezione. Le domande saranno abbastanza generali da permettere un'ampia discussione che verrà valutata sia nel merito che nella chiarezza di esposizione.

Testi di riferimento/Bibliografia

Testo di base:

S. Dodelson, "Modern Cosmology", Academic Press (2003, seconda edizione 2020 - vanno ugualmente bene entrambe)

Altri testi/note utili:

D. Baumann, Part III Mathematical Tripos Cosmology notes (disponibili su vari siti online, ad es. <https://cmb.wintherscoming.no/pdfs/baumann.pdf>)

O. F. Piattella, Lecture Notes in Cosmology, <https://arxiv.org/abs/1803.00070>

Testi avanzati:

D. Baumann, "Cosmology", Cambridge University Press (2021)

V. Mukhanov, "Physical Foundations of Cosmology", Cambridge University Press (2005)

Altre informazioni

Nessuna informazione aggiuntiva.

Stampa del 09/12/2022