



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**  
**Centro de Tecnologia e Ciências**  
**Instituto de Física Armando Dias Tavares**  
**Programa de Pós-Graduação em Física**

***Ementa de Tópicos Especiais: Cosmologia***

**Código: FIS99915 – carga horária: 30h/aula – créditos: 02 (cada parte).**

**1. Parte 1: fundamentos**

1. Espaço-tempo e gravitação. Variedades e tensores. Derivada covariante, transporte paralelo, derivada de Lie. Geodésicas e símbolos de Christoffel. Quantidades conservadas ao longo de uma geodésica. Curvatura. Equação de desvio geodésico.
2. Relatividade Geral. Equações de Einstein. O tensor de energia-momento. Interpretação das equações de campo. Equações de conservação.
3. O modelo cosmológico padrão. O universo homogêneo. O princípio cosmológico e o princípio copernicano. Modelos cosmológicos exatos. Expansão e contração. Tempo e distâncias. Idade do universo e “look-back time”. Distância angular, e de luminosidade. Comportamento para redshifts pequenos. Parâmetro de desaceleração.
4. Horizontes. Horizonte de eventos. Horizonte de partículas.
5. Além do princípio cosmológico. Classificação de espaço-tempos. Universos com seções espaciais homogêneas. Universos com seção espacial não homogênea. Geometrias de Lemâitre-Tolman-Bondi e Lemâitre.
6. O modelo cosmológico padrão. O diagrama de Hubble e a idade do universo. A constante de Hubble. Supernovas. A idade do universo.
7. Termodinâmica num universo em expansão. Termodinâmica no equilíbrio e fora dele. História térmica do universo. Recombinação e desacoplamento. Equivalência entre matéria e radiação. Escalas temporais no modelo padrão.

**2. Parte 2: inflação e expansão acelerada**

1. O universo muito primitivo. O big bang. O tempo de Planck. A era de Planck. Cosmologia quântica.
2. Inflação. Origem do paradigma. Problemas do modelo padrão, e soluções fornecidas pela inflação. Primeiros modelos de inflação. Inflação com uma fase de de Sitter. Dinâmica de um único inflaton. Parâmetros de slow-roll. Fim da inflação. Exemplos
3. Flutuações quânticas durante a inflação. Campo escalar teste sem massa e massivo no espaço-tempo de de Sitter. Campo escalar massivo durante

Rio de Janeiro, 12 de julho de 2023.

\_\_\_\_\_  
Professor/matr.

\_\_\_\_\_  
Coordenador/matr:



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**  
**Centro de Tecnologia e Ciências**  
**Instituto de Física Armando Dias Tavares**  
**Programa de Pós-Graduação em Física**

o slow-roll. Flutuações quânticas do inflaton. Quantidades perturbadas, e equações de perturbação. Evolução dos modos de comprimento de onda grande.

Gravitational waves. Perturbações no regime slow-roll. Power-law inflation.

4. Relação com as observações. Reconstrução do potencial. Término da inflação e reheating. Inflação eterna. Não gaussianidade. O problema trans-planckiano. Status do paradigma. Modelos com ricochete.
5. A expansão acelerada: evidência observacional (a idade do universo, supernovas, CMB, BAO, estrutura em larga escala). A constante cosmológica. A energia escura. Quintessência. Parametrização da equação de estado. Gravitação modificada.

3. **Parte 3:** O universo não homogêneo

1. Perturbações newtonianas: espaço estático, espaço em expansão. Teoria de Jeans. Instabilidade gravitacional. Teoria de Jeans para fluidos com e sem colisões. O fator de crescimento. Predições e observáveis. Rumo ao regime não linear.
2. Teoria de perturbações cosmológicas invariante de calibre. Espaço-tempo perturbado. Descrição da matéria. Escolha do a gauge. Equações de Einstein: decomposição SVT. Equação de conservação perturbada para um fluido. Interpretação das equações de perturbação.
3. Modos vetoriais e tensoriais. Evolução do potencial gravitacional. Modos escalares no regime adiabático. O caso de vários fluidos. Espectro de potências das flutuações de densidade. A estrutura do universo em larga escala.
4. O fundo cósmico de radiação: origem, anisotropia. O efeito Sachs- Wolfe. Espectro angular de potências. Descrição cinética. Equação de Boltzmann perturbada. Expressões invariantes de calibre. Função de correlação e múltiplos. Anisotropias em escalas angulares largas e pequenas. Funções de transferência. Momentos multipolares. Parâmetros. Cálculo do espectro. Determinação de parâmetros cosmológicos. Ondas gravitacionais. Polarization del CMB. Tensor de polarização. Espalhamento de Thomson e polarização. Modos de polarização E e B e funções de correlação.

**Bibliografia:**

1. Primordial Cosmology, Patrick Peter e Jean-Philippe Uzan.

Rio de Janeiro, 12 de julho de 2023.	_____ Professor/matr.	_____ Coordenador/matr:
--------------------------------------	--------------------------	----------------------------



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**  
**Centro de Tecnologia e Ciências**  
**Instituto de Física Armando Dias Tavares**  
**Programa de Pós-Graduação em Física**

2. Physical Foundations of Cosmology, Viatcheslav Mukhanov.
3. Relativistic Cosmology, Ellis, Maartens e MacCallum.
4. Dark Energy: Theory and Observations, Luca Amendola e Shinji Tsujikawa.

Rio de Janeiro, 12 de julho de 2023.

\_\_\_\_\_  
Professor/matr.

\_\_\_\_\_  
Coordenador/matr: