

1. El universo observable

- 1.1 ¿QUÉ ES EL UNIVERSO?
- 1.2 LA PARADOJA DE OLBERS O POR QUÉ EL CIELO NOCTURNO ES OSCURO
- 1.3 LA EDAD DEL UNIVERSO
 - 1.3.1 *Evolución estelar*
 - 1.3.2 *Nucleocosmocronología*
 - 1.3.3 *Conclusión*
- 1.4 DETERMINACIÓN DE DISTANCIAS EN EL UNIVERSO
 - 1.4.1 *Introducción*
 - 1.4.2 *La escala de distancias*
 - 1.4.3 *Indicadores secundarios de gran alcance*
 - 1.4.4 *Resumen de los indicadores de distancia*
- 1.5 EL DESPLAZAMIENTO AL ROJO
 - 1.5.1 *Introducción*
 - 1.5.2 *Historia*
 - 1.5.3 *Propiedades del desplazamiento al rojo*
 - 1.5.4 *Interpretaciones*
 - 1.5.5 *Independencia con respecto al observador en la evolución de la métrica*
 - 1.5.6 *El desplazamiento al rojo como una evolución de la métrica*
 - 1.5.7 *La estaticidad de la métrica a escala local*
 - 1.5.8 *Anisotropías en el Flujo de Hubble*
 - 1.5.9 *La expansión y la edad del universo*
 - 1.5.10 *Determinación de la constante de Hubble*
 - 1.5.11 *Las supernovas tipo Ia a distancias cosmológicas*
 - 1.5.12 *La distribución de materia luminosa*
- 1.6 LA MATERIA OSCURA DEL UNIVERSO
 - 1.6.1 *Historia e indicios*
 - 1.6.2 *Relación masa/luminosidad*
 - 1.6.3 *Naturaleza de la masa oscura*
 - 1.6.4 *Influencia de la materia oscura en la formación de estructuras*
 - 1.6.5 *Teorías alternativas*
- 1.7 LA RADIACIÓN CÓSMICA DE FONDO
 - 1.7.1 *Historia*
 - 1.7.2 *Características observables*
 - 1.7.3 *Interpretación*
- 1.8 LAS ABUNDANCIAS DE ELEMENTOS LIGEROS
 - 1.8.1 *Determinación de abundancias*
 - 1.8.2 *Las abundancias observadas*
 - 1.8.3 *Deuterio*
 - 1.8.4 *Helio*
 - 1.8.5 *Litio*
 - 1.8.6 *Berilio y boro*
 - 1.8.7 *La abundancia de bariones*
- 1.9 LA ASIMETRÍA MATERIA-ANTIMATERIA
- 1.10 RESUMEN DEL CAPÍTULO
- 1.11 EJERCICIOS
- 1.12 BIBLIOGRAFÍA
 - 1.12.1 *Referencias*
 - 1.12.2 *Textos recomendados*
 - 1.12.3 *Textos para ampliación de conocimientos*
 - 1.12.4 *Enlaces útiles*

2. La relatividad aplicada al universo

- 2.1 LA MÉTRICA
 - 2.1.1 *Definición*
 - 2.1.2 *Aplicaciones*
 - 2.1.3 *Clasificación de métricas*
- 2.2 LA RELATIVIDAD GENERAL

- 2.2.1 *El principio de equivalencia*
- 2.2.2 *La ecuación de Einstein*
- 2.2.3 *El tensor energía-momento*
- 2.2.4 *La constante cosmológica*
- 2.3 APLICACIÓN A LA COSMOLOGÍA
 - 2.3.1 *La homogeneidad e isotropía espaciales*
 - 2.3.2 *El principio cosmológico*
 - 2.3.3 *El tensor energía-momento para un fluido perfecto*
 - 2.3.4 *La métrica de un universo espacialmente homogéneo e isótropo*
 - 2.3.5 *Análisis de la parte temporal de la métrica de Robertson-Walker.*
 - 2.3.6 *Análisis de la parte espacial de la métrica de Robertson-Walker:*
 - 2.3.7 *Formas de la métrica de Robertson-Walker*
 - 2.3.8 *Unidades en las distintas formas de la métrica de Robertson-Walker*
- 2.4 LAS ECUACIONES DE FRIDMAN
 - 2.4.1 *Deducción*
 - 2.4.2 *Interpretación clásica de las ecuaciones de Fridman*
- 2.5 LA ECUACIÓN DE ESTADO
 - 2.5.1 *Ecuaciones de estado en el universo*
 - 2.5.2 *Evolución de la densidad de energía*
 - 2.5.3 *La incorporación de la ecuación de estado en las ecuaciones de Fridman*
- 2.6 IMPLICACIONES DE LAS ECUACIONES DE FRIDMAN Y LA ECUACIÓN DE ESTADO
 - 2.6.1 *El universo no es estático*
 - 2.6.2 *La densidad de energía disminuye con la expansión*
 - 2.6.3 *La expansión no es constante*
 - 2.6.4 *Posible existencia de singularidades*
 - 2.6.5 *La curvatura y la densidad*
 - 2.6.6 *La curvatura, la ecuación de estado y el carácter de la expansión*
 - 2.6.7 *La desaceleración y la densidad*
 - 2.6.8 *La edad del universo y la constante de Hubble*
 - 2.6.9 *Evolución de un universo euclídeo*
- 2.7 RESUMEN DEL CAPÍTULO SEGUNDO
 - 2.7.1 *Métrica de Robertson-Walker estándar*
 - 2.7.2 *Definiciones*
 - 2.7.3 *Ecuaciones de Fridman*
 - 2.7.4 *Ecuaciones generales*
 - 2.7.5 *Ecuaciones para una única ecuación de estado*
 - 2.7.6 *Cuadro resumen*
- 2.8 EJERCICIOS DEL CAPÍTULO SEGUNDO
- 2.10 BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO SEGUNDO
 - 2.10.1 *Referencias*
 - 2.10.2 *Textos recomendados*
- 2.10.3 Enlaces útiles

3. Modelos cosmológicos

- 3.1 UNIVERSOS DE EINSTEIN Y DE DE SITTER
 - 3.1.1 *Universo de Einstein*
 - 3.1.2 *Universo de De Sitter*
- 3.2 UNIVERSOS EUCLÍDEOS CON UNA ÚNICA ECUACIÓN DE ESTADO
- 3.3 UNIVERSOS DOMINADOS POR LA MASA EN REPOSO
 - 3.3.1 *Curvatura nula*
 - 3.3.2 *Curvatura positiva*
 - 3.3.3 *Curvatura negativa*
- 3.4 UNIVERSOS DOMINADOS POR RADIACIÓN
 - 3.4.1 *Curvatura nula*
 - 3.4.2 *Curvatura positiva*
 - 3.4.3 *Curvatura negativa*
- 3.5 UNIVERSOS DOMINADOS POR CONSTANTE COSMOLÓGICA
 - 3.5.1 *Curvatura positiva*
 - 3.5.2 *Curvatura negativa*

- 3.6 UNIVERSOS DOMINADOS POR OTRAS ENERGÍAS OSCURAS
- 3.7 UNIVERSOS SIMBIÓTICOS
 - 3.7.1 *Modelo completo*
 - 3.7.2 *Universos de radiación y materia no relativista*
 - 3.7.3 *Universos de materia no relativista y constante cosmológica*
- 3.8 EL MODELO ESTÁNDAR
 - 3.8.1 *Definición*
 - 3.8.2 *Caso general*
 - 3.8.3 *Aproximaciones al modelo estándar*
 - 3.8.4 *Aplicación del modelo estándar a nuestro universo*
- 3.9 MODELOS ALTERNATIVOS
 - 3.9.1 *Estado estacionario*
 - 3.9.2 *Modelos con constante de gravitación dependiente del tiempo*
- 3.10 RESUMEN DEL CAPÍTULO TERCERO
 - 3.10.1 *Representación gráfica*
 - 3.10.2 *El modelo estándar*
 - 3.10.3 *Cuadro resumen*
- 3.11 EJERCICIOS DEL CAPÍTULO TERCERO
- 3.12 BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO TERCERO
 - 3.12.1 *Referencias*
 - 3.12.2 *Textos recomendados*
 - 3.12.3 *Enlaces útiles*

4. Cosmometría

- 4.1 DISTANCIAS
 - 4.1.1 *Distancias propias y comóviles*
 - 4.1.2 *Distancia de luz*
 - 4.1.3 *La corrección K*
 - 4.1.4 *Distancia transversal*
 - 4.1.5 *Distancia de movimiento propio*
 - 4.1.6 *Distancia de ángulo*
 - 4.1.7 *Distancias en cosmología*
 - 4.1.8 *Evolución de las distancias*
 - 4.1.9 *Los indicadores de distancias*
 - 4.1.10 *Distancias en universos heterogéneos*
- 4.2 LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO
 - 4.2.1 *Ley de Hubble*
 - 4.2.2 *Evolución de la velocidad peculiar*
 - 4.2.3 *Velocidad de recesión*
 - 4.2.4 *Aceleración de la recesión*
 - 4.2.5 *Recesión superlumínica y el radio de Hubble.*
- 4.3 HORIZONTES COSMOLÓGICOS
 - 4.3.1 *Concepto de Horizonte cosmológico*
 - 4.3.2 *Horizonte de partículas*
 - 4.3.3 *Horizonte de sucesos*
 - 4.3.4 *Horizontes de partículas y de sucesos en distintas cosmologías*
 - 4.3.5 *Evolución de los horizontes*
 - 4.3.6 *Evolución del radio de Hubble*
- 4.4 VOLUMEN
 - 4.4.1 *Elemento de volumen propio*
 - 4.4.2 *Elemento de volumen comóvil y evolución del volumen propio*
 - 4.4.3 *Esfera propia*
- 4.5 COSMOCARTOGRAFÍA
 - 4.5.1 *Principios de la cosmocartografía*
 - 4.5.2 *Tipos de cartografiados*
 - 4.5.3 *Distribución de fuentes*
 - 4.5.4 *La función de luminosidad y su evolución*
 - 4.5.5 *La prueba de Schmidt o del volumen máximo*
- 4.6 APLICACIÓN AL MODELO ESTÁNDAR

- 4.6.1 *La paradoja de Olbers*
- 4.6.2 *Los indicadores de distancias*
- 4.6.3 *Distancias de luz y la expansión acelerada*
- 4.6.4 *Distancias de ángulo*
- 4.6.5 *Horizontes*
- 4.7 RESUMEN DEL CAPÍTULO CUARTO
 - 4.7.1 *Distancias*
 - 4.7.2 *Horizontes*
 - 4.7.3 *Volumen*
- 4.8 EJERCICIOS DEL CAPÍTULO CUARTO
- 4.9 BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO CUARTO
 - 4.9.1 *Referencias*
 - 4.1.1 *Textos para ampliación de conocimientos*
 - 4.9.2 *Textos recomendados*
 - 4.9.3 *Enlaces útiles*

5. El universo Primordial o de las transiciones de fase

- 5.1 EL ORIGEN DEL UNIVERSO Y LA SINGULARIDAD INICIAL
- 5.2 UNIFICACIÓN DE INTERACCIONES
 - 5.2.1 *Interacciones fundamentales*
 - 5.2.2 *Partículas elementales*
 - 5.2.3 *Teorías de unificación*
 - 5.2.4 *Teoría electrodébil*
 - 5.2.5 *Teorías de gran unificación*
 - 5.2.6 *Teorías de superunificación*
 - 5.2.7 *La expansión y la pérdida de unificación*
- 5.3 TRANSICIONES DE FASE
 - 5.3.1 *Definición y ejemplos*
 - 5.3.2 *Física de las transiciones de fase*
 - 5.3.3 *Rotura de la simetría*
 - 5.3.4 *Tipos de transiciones de fase*
 - 5.3.5 *Defectos topológicos*
 - 5.3.6 *Transiciones de fase cosmológicas*
- 5.4 LA ÉPOCA DE PLANCK
- 5.5 LA ÉPOCA GUT
- 5.6 LA ÉPOCA ELECTRODÉBIL
- 5.7 LA ÉPOCA CUARK
- 5.8 PROBLEMAS DEL MODELO ESTÁNDAR
 - 5.8.1 *El inicio de la expansión*
 - 5.8.2 *El valor de la constante cosmológica*
 - 5.8.3 *La formación de estructuras*
 - 5.8.4 *La edad del universo*
 - 5.8.5 *El ajuste fino de la densidad o el problema de la planitud*
 - 5.8.6 *La conectividad causal o el problema del horizonte*
 - 5.8.7 *La densidad de monopolos*
- 5.9 LA INFLACIÓN
 - 5.9.1 *Definición*
 - 5.9.2 *Soluciones inflacionarias a algunos de los problemas del Modelo Estándar*
 - 5.9.3 *Dinámica del campo inflacionario*
 - 5.9.4 *Algunos tipos de inflación: de los modelos al escenario*
- 5.10 MODELOS SIN INFLACIÓN; EL UNIVERSO ECPIRÓTICO
- 5.11 RESUMEN DEL CAPÍTULO QUINTO
- 5.12 EJERCICIOS DEL CAPÍTULO QUINTO
- 5.13 BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO QUINTO
 - 5.13.1 *Referencias*
 - 5.13.2 *Textos recomendados*
 - 5.13.3 *Enlaces útiles*

6. El universo temprano

- 6.1 TERMODINÁMICA EN EL UNIVERSO TEMPRANO
 - 6.1.1 *Termodinámica del equilibrio*
 - 6.1.2 *Redefinición de unidades*
 - 6.1.3 *Concepto de potencial químico*
 - 6.1.4 *Aplicación a la radiación de fondo*
 - 6.1.5 *Potenciales químicos en el equilibrio termodinámico*
 - 6.1.6 *Límite relativista y no relativista*
 - 6.1.7 *Grados de libertad efectivos*
 - 6.1.8 *Relación edad-temperatura*
 - 6.1.9 *Entropía*
- 6.2 EVOLUCIÓN DEL UNIVERSO TEMPRANO
 - 6.2.1 *Procesos en el universo temprano*
 - 6.2.2 *La ecuación de Boltzmann con colisiones*
 - 6.2.3 *Aproximaciones*
- 6.3 ÉPOCA HADRÓNICA
 - 6.3.1 *Composición*
 - 6.3.2 *Interacciones*
 - 6.3.3 *Potenciales químicos*
- 6.4 ÉPOCA LEPTÓNICA
 - 6.4.1 *Composición e interacciones*
 - 6.4.2 *Desacoplamiento de los neutrinos*
 - 6.4.3 *Desacoplamiento protón/neutrón-neutrino*
 - 6.4.4 *Aniquilación de pares electrón-positrón*
 - 6.4.5 *La masa del neutrino*
- 6.5 ÉPOCA FOTÓNICA
 - 6.5.1 *Reacciones*
 - 6.5.2 *Principios de la nucleosíntesis primordial del ^2H y ^4He*
 - 6.5.3 *Nucleosíntesis de otros elementos*
 - 6.5.4 *Factores que intervienen en la nucleosíntesis primordial*
 - 6.5.5 *Fin de la época fotónica*
- 6.6 ÉPOCA DEL PLASMA. FORMACIÓN DEL HIDRÓGENO.
- 6.7 ÉPOCA ATÓMICA. DESACOPLAMIENTO DE LOS FOTONES.
- 6.8 RESUMEN DEL CAPÍTULO SEXTO
- 6.9 EJERCICIOS DEL CAPÍTULO SEXTO
- 6.10 BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO SEXTO
 - 6.10.1 *Referencias y textos de consulta*
 - 6.10.2 *Textos recomendados para ampliación de conocimientos*
 - 6.10.3 *Enlaces útiles*

7. La radiación cósmica de fondo

- 7.1 LA SUPERFICIE DE ÚLTIMO ESPARCIMIENTO
- 7.2 MECANISMOS CAUSANTES DE DISTORSIONES GLOBALES DEL ESPECTRO
 - 7.2.1 *Antes de la combinación: distorsión de Bose-Einstein*
 - 7.2.2 *Durante la combinación: líneas atómicas*
 - 7.2.3 *Después de la combinación: comptonización y radiación de frenado*
- 7.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS ANISOTROPÍAS
 - 7.3.1 *Espectro*
 - 7.3.2 *Escala angular*
 - 7.3.3 *Anisotropías primarias, secundarias y terciarias*
- 7.4 ESPECTRO DE LAS FLUCTUACIONES PRIMORDIALES
- 7.5 MECANISMOS CAUSANTES DE ANISOTROPÍAS PRIMARIAS
 - 7.5.1 *Variaciones de densidad*
 - 7.5.2 *Efecto Sachs-Wolfe*
 - 7.5.3 *Efecto Doppler*
 - 7.5.4 *Síntesis*
- 7.6 ANISOTROPÍAS PRIMARIAS DE GRAN ESCALA ($\Delta\theta > \Delta\theta_H$)
 - 7.6.1 *Efecto Sachs-Wolfe*

- 7.6.2 *Efecto Doppler: dipolo y cuadrupolo*
- 7.7 ANISOTROPÍAS PRIMARIAS DE ESCALA INTERMEDIA ($\Delta\theta_{UD} < \Delta\theta < \Delta\theta_H$)
 - 7.7.1 *El fluido fotón-barión*
 - 7.7.2 *Picos acústicos*
 - 7.7.3 *Implicaciones cosmológicas de los picos acústicos*
- 7.8 MECANISMOS QUE REDUCEN LAS ANISOTROPÍAS PRIMARIAS
 - 7.8.1 *Integración sobre la superficie de último esparcimiento*
 - 7.8.2 *Amortiguación de los picos acústicos*
 - 7.8.3 *Proyección de la cinemática sobre la línea de visión*
 - 7.8.4 *Reionización*
 - 7.8.5 *Conclusiones*
- 7.9 DESPUÉS DE LA COMBINACIÓN: ANISOTROPÍAS SECUNDARIAS
 - 7.9.1 *Efecto Sunyaev-Zel'dovich*
 - 7.9.2 *Efecto Sachs-Wolfe integrado*
 - 7.9.3 *Lentes gravitatorias*
 - 7.9.4 *Reionización*
 - 7.9.5 *Otros mecanismos*
- 7.10 ANISOTROPÍAS TERCARIAS
- 7.11 RESUMEN DEL CAPÍTULO SÉPTIMO
 - 7.11.1 *Distorsiones globales*
 - 7.11.2 *Anisotropías*
 - 7.11.3 *Implicaciones cosmológicas de las anisotropías primarias*
 - 7.11.4 *Historia de la radiación cósmica de fondo*
- 7.12 EJERCICIOS DEL CAPÍTULO SÉPTIMO
- 7.13 BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO SÉPTIMO
 - 7.13.1 *Referencias*
 - 7.13.2 *Textos de consulta*
 - 7.13.3 *Textos recomendados para ampliación de conocimientos*
 - 7.13.4 *Enlaces útiles*

8. El universo contemporáneo

- 8.1 FORMACIÓN DE ESTRUCTURAS EN EL UNIVERSO
 - 8.1.1 *Introducción*
 - 8.1.2 *Ecuaciones linealizadas de las fluctuaciones*
 - 8.1.3 *La longitud de Jeans*
 - 8.1.4 *Longitud de Jeans para la materia oscura*
 - 8.1.5 *Crecimiento en un universo estático*
 - 8.1.6 *Dominio de la radiación*
 - 8.1.7 *Efecto Mézáros*
 - 8.1.8 *Amortiguación de las fluctuaciones de materia oscura*
 - 8.1.9 *Dominio de la materia antes del desacoplamiento de la radiación*
 - 8.1.10 *Después del desacoplamiento*
 - 8.1.11 *La función de transferencia*
 - 8.1.12 *Crecimiento no lineal de las fluctuaciones*
- 8.2 MÁS ALLÁ DEL UNIVERSO CONTEMPORÁNEO: EL FUTURO DEL UNIVERSO
- 8.3 EL FUTURO DE LA COSMOLOGÍA
 - 8.3.1 *La cosmología a examen: asignaturas aprobadas*
 - 8.3.2 *La cosmología a examen: algunas asignaturas pendientes*
 - 8.3.3 *Futuros observatorios*
- 8.4 HISTORIA SINÓPTICA DE LA COSMOLOGÍA MODERNA
- 8.5 CONCLUSIÓN
- 8.6 RESUMEN DEL CAPÍTULO OCTAVO
 - 8.6.1 *Formación de estructuras*
 - 8.6.2 *El futuro del universo*
 - 8.6.3 *La cosmología a examen*
- 8.7 RESUMEN DE LAS ERAS Y ÉPOCAS COSMOLÓGICAS DEL MODELO ESTÁNDAR
- 8.8 EJERCICIOS DEL CAPÍTULO OCTAVO
- 8.9 BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO OCTAVO
 - 8.9.1 *Referencias*

- 8.9.2 *Textos de consulta*
- 8.9.3 *Textos recomendados para ampliación de conocimientos*
- 8.9.4 *Enlaces útiles*

A Constantes

- A.1 FÍSICAS
- A.2 ASTRONÓMICAS

B Pedagogía

- B.1 PRINCIPIOS PEDAGÓGICOS
- B.2 ORGANIZACIÓN
 - B.2.1 *Conocimientos previos*
 - B.2.2 *Ideas destacadas*
- B.3 DISEÑO DE CURSOS
 - B.3.1 *Cosmología*
 - B.3.2 *Astronomía extragaláctica*
 - B.3.3 *Introducción a la astrofísica*