

Содержание

Предисловие редакторов перевода	13
Предисловие	14
Основные обозначения	19
Глава 1. РАСШИРЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ	21
1.1. Геометрия пространства-времени	22
Метрика Робертсона—Уокера • Сопутствующие координаты • Собственные расстояния • Распад импульса • Пространственные геодезические • Сохранение числа • Сохранение энергии и импульса • Холодная материя, горячая материя, вакуумная энергия • Глобальная геометрия и топология	
1.2. Космологическое красное смещение	30
Время испускания как функция радиальной координаты • Красные и голубые смещения • Постоянная Хаббла • Открытие расширения • Меняющиеся красные смещения	
1.3. Расстояния при малых красных смещениях: постоянная Хаббла ...	34
Тригонометрический параллакс • Собственные движения • Видимая светимость: главная последовательность, красное звездное сгущение, звезды типа RR Лиры, вращающиеся двойные звезды, цефеиды • Соотношение Талли—Фишера • Соотношение Фабера—Джексона • Главная последовательность • Сверхновые типа Ia • Флуктуации поверхностной яркости • Результат для постоянной Хаббла	
1.4. Фотометрическое расстояние и расстояние по угловому диаметру ...	53
Фотометрическое расстояние • Параметр замедления • Рывок и толчок • Расстояние по угловому диаметру	
1.5. Динамика расширения	57
Уравнения поля Эйнштейна • Уравнение Фридмана • Вывод в ньютоновском приближении • Критическая плотность • Проблема плоскостности • Расширение при доминировании вещества • Радиационно-доминированное расширение • Расширение при доминировании вакуума • Модель де Ситтера • Ω_m , Ω_R , Ω_Λ • Формула для фотометрического расстояния • Будущее расширение • Историческое замечание: космологическая постоянная • Историческое замечание: стационарная модель	
1.6. Расстояния при больших красных смещениях: ускоряющееся расширение	68
Открытие ускоряющегося расширения • Ньютоновская интерпретация • Серая пыль? • Открытие ранней стадии замедления ускорения • Другие	

	эффекты • Параметр w в уравнении состояния • Наблюдения в рентгеновских лучах • Проблемы космологической постоянной	
1.7.	Космическое расширение или «усталость» света?	81
	Тест на поверхностную яркость • Замедление спада сверхновых	
1.8.	Возрасты	83
	Распространенность тяжелых элементов • Выключение главной последовательности • Возраст и красное смещение	
1.9.	Массы	90
	Усредненные по теореме вириала кластеры галактик: Ω_M • Рентгеновская светимость кластеров галактик: Ω_b/Ω_M	
1.10.	Межгалактическое поглощение	100
	Оптическая глубина • Резонансное поглощение • Поглощение на длине волны 21 см • Поглощение на линии Лайман- α • Впадина Ганна—Петерсона • Анализ Алкока—Пачинского	
1.11.	Подсчеты числа источников	108
	Числа vs z и ℓ • Эволюция • Обзор радиоисточников	
1.12.	Квинтэссенция	114
	Теории скалярного поля • Степенной потенциал • Следящее решение • Двухпараметрические модели	
1.13.	Горизонты	124
	Горизонт частиц • Горизонт событий	
Глава 2.	РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ	127
2.1.	Предвосхищение и открытие реликтового излучения	127
	Излучение черного тела • Ранние гипотезы • Открытие • Формула Рэлея—Джинса • Линии поглощения CN • Воздушные шары и ракеты • COBE и FIRAS • Плотность энергии • Плотность числа частиц • Влияние на космическое излучение	
2.2.	Эпоха равновесия	135
	Энтропия в расчете на один барион • Баланс излучения и вещества • Разделение энергии	
2.3.	Рекомбинация и последнее рассеяние	140
	Распределение Максвелла—Больцмана • Формула Саха • Распад $n = 2$ в $n = 1$ • Анализ Пиблза • Вероятность Лайман- α убегания • Уравнение для скорости • Дробная ионизация • Непрозрачность • Приближение Джонса—Вайза	
2.4.	Дипольная анизотропия	157
	Угловое распределение температуры • Открытие U2 • Измерения COBE и WMAP • Кинематический квадруполь	
2.5.	Эффект Сюняева—Зельдовича	160
	Уравнение Компанейца • Спектральный сдвиг • Использование вместе с рентгеновской светимостью	

2.6. Первичные флуктуации реликтового излучения: беглый взгляд	164
Кoeffициенты парциальных волн $a_{\ell m}$ • Мультипольные коэффициенты C_ℓ • Космическая дисперсия • Эффект Сакса—Вольфе • Спектр Гаррисона—Зельдовича • Доплеровские флуктуации • Внутренние температурные флуктуации • Интегрированный эффект Сакса—Вольфе • Наблюдения COBE	
Глава 3. РАННЯЯ ВСЕЛЕННАЯ	177
3.1. Температурная история	177
Плотность энтропии • Распределения Ферми—Дирака и Бозе—Эйнштейна • Время против температуры • Эффективное число сортов • Отщепление нейтрино • Разогрев за счет электрон-позитронной аннигиляции • Массы нейтрино и химические потенциалы	
3.2. Космологический нуклеосинтез	188
Конверсия нейтрон — протон • Равновесные ядерные распространенности • Дейтериевое «бутылочное горлышко» • Распространенность гелия • Распространенность дейтерия • Распространенность ^3He • Распространенность лития • $\Omega_b h^2$	
3.3. Бариосинтез и лептосинтез	203
Условия Сахарова • Задержанный распад • Электрослабое несохранение • Лептогенезис • Механизм Аффлекса—Дайна • Равновесный нуклеосинтез	
3.4. Холодная темная материя	216
Кластер Пуля • Распространенность WIMPs с преобладанием левых частиц • Счастлицы • Поиски WIMPs • Аннигиляционное гамма-излучение • Аксионы и аксино	
Глава 4. ИНФЛЯЦИЯ	233
4.1. Три вопроса	234
Плоскостность • Горизонты • Монополи	
4.2. Медленная инфляция	240
Формирование пузырей • Новая инфляция • Условия медленного скатывания • Степенной потенциал • Экспоненциальный потенциал • Повторный разогрев	
4.3. Хаотическая инфляция, вечная инфляция	248
Условие вечной инфляции • Условие хаотичной инфляции	
Глава 5. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ МАЛЫХ ФЛУКТУАЦИЙ	251
5.1. Полевые уравнения	251
Возмущенный тензор Риччи • Возмущенный тензор энергии-импульса • Скалярные моды • Векторные моды • Тензорные моды	
5.2. Разложение Фурье и стохастические начальные условия	260
Решения в виде плоских волн • Стохастические параметры • Корреляционные функции • Разложение по спиральностям	

5.3. Выбор калибровки	268
Калибровочные преобразования • Ньютоновская калибровка • Синхронная калибровка • Конверсия • Другие калибровки	
5.4. Законы сохранения за пределами горизонта	277
Величины \mathcal{R} и ζ • Теорема о сохранении • Сохранение для изолированных компонентов	
Глава 6. ЭВОЛЮЦИЯ КОСМОЛОГИЧЕСКИХ ФЛУКТУАЦИЙ	290
6.1. Скалярные возмущения — кинетическая теория	291
Холодная темная материя • Барионная плазма • Возмущение δn^{ij} матрицы плотности числа фотонов • Безразмерная матрица J_{ij} интенсивности фотонов • Уравнения Больцмана для фотонов • Функции источника для фотонов • Давление, плотность и анизотропная инерция фотонов • Решения для фотонов на линии прямой видимости • Возмущения δn_ν плотности числа нейтрино • Безразмерная интенсивность нейтрино J • Уравнения Больцмана для нейтрино • Давление, плотность и анизотропная инерция для нейтрино • Решения для нейтрино на линии прямой видимости • Уравнения гравитационного поля • Начальные условия	
6.2. Скалярные возмущения — гидродинамический предел	307
Гидродинамика и полевые уравнения • Адиабатические начальные условия • Неадиабатические моды • Малые и большие длины волн	
6.3. Скалярные возмущения — длинные волны	315
Эволюция очень далеко за горизонтом • Эволюция в эру доминирования материи	
6.4. Скалярные возмущения — короткие длины волн	323
Эволюция в эру доминирования излучения • Эволюция глубоко внутри горизонта • Быстрые и медленные моды • Совместимость	
6.5. Скалярные возмущения — интерполяция и передаточные функции	337
Точное решение для $\bar{\rho}_b = 0$ • Передаточные функции • Эффекты плотности и затухания для барионов	
6.6. Тензорные возмущения	347
Уравнения гравитационного поля • Уравнения Больцмана для фотонов • Функции источника для фотонов • Анизотропная инерция фотонов • Решение для фотонов на линии прямой видимости • Уравнения Больцмана для нейтрино • Анизотропная инерция для нейтрино • Решения для нейтрино на линии прямой видимости • Эволюция без затухания • Передаточные функции • Влияние затухания	
Глава 7. АНИЗОТРОПИИ НА МИКРОВОЛНОВОМ НЕБЕ	364
7.1. Общие формулы для флуктуаций температуры	364
Формула на линии прямой видимости • Перестройка скалярных температурных флуктуаций • Проинтегрированный эффект Сакса—Вольфе	

	• Приближение внезапного расщепления • Повторный вывод, следуя траекториям фотонов • Калибровочная инвариантность	
7.2.	Температурные мультипольные коэффициенты: скалярные моды . . .	379
	Общая формула • Приближение больших ℓ • Расчет формфакторов • Затухание Силка—Ландау • Сравнение с числовыми кодами • Наблюдения на земле и на воздушных шарах • WMAP • Результаты для космологических параметров	
7.3.	Температурные мультипольные коэффициенты: тензорные моды . . .	398
	Общая формула • Расчет амплитуды гравитационной волны • Расчет функции источника • Приближение больших ℓ • Приближение внезапного расщепления • Численные результаты	
7.4.	Поляризация	407
	Параметры Стокса • Сферические гармоники спина ± 2 • Свойства инверсии пространства • Поляризация E и B • Скалярные моды: общая формула • Скалярные моды: приближение больших ℓ • Скалярные моды: численные результаты • Скалярные моды: наблюдения • Тензорные моды: общая формула • Тензорные моды: приближение больших ℓ • Тензорные моды: численные результаты • Корреляционные функции	
Глава 8.	РОСТ СТРУКТУРЫ	438
8.1.	Линейные возмущения после рекомбинации	439
	Гидродинамика и уравнения поля • Факторизация возмущений • Эффект вакуумной энергии • Степенная спектральная функция $P(k)$ • Корреляционная функция • Прямое измерение $P(k)$ • Среднеквадратичная флуктуация σ_R • Измерение $P(k)$ • Барийные акустические осцилляции • Космическая дисперсия при измерении $P(k)$	
8.2.	Нелинейный рост	457
	Сферически симметричный коллапс • Вычисление σ_R • Массовая функция Пресса—Шехтера	
8.3.	Коллапс барийной материи	463
	Масса Джинса • Непрерывность • Уравнения Эйлера • Степенные решения • Критическое волновое число для барийного коллапса	
Глава 9.	ГРАВИТАЦИОННЫЕ ЛИНЗЫ	468
9.1.	Уравнение линзы для точечных масс	468
	Вывод уравнения линзы • Разделение изображений • Кольцо Эйнштейна	
9.2.	Увеличение: сильное линзирование и микролинзирование	471
	Светимость изображения • Сохранение поверхностной яркости • Эффективный радиус сильного линзирования • Численные расчеты • Модель де Ситтера • Модель Эйнштейна—де Ситтера • Обзор линз • Наблюдения микролинзирования	
9.3.	Протяженные линзы	479
	Уравнение линзы • Светимость линзы • Численные расчеты • Обзоры	

9.4. Задержка во времени	483
Геометрическая задержка • Потенциальная задержка • Наблюдения	
9.5. Слабое линзирование	489
Вычисление отклонения • Матрица сдвига • Матрица эллиптичности • Средняя матрица сдвига • Поле сдвига κ • Мультипольные коэффициенты • Приближение больших ℓ • Измерение $P(k)$ • Корреляционные функции • Обзор сдвигов	
9.6. Космические струны	505
Вычисление отклонения • Подозрение на струны	
Глава 10. ИНФЛЯЦИЯ КАК ПРИЧИНА ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОСМОЛОГИЧЕСКИХ ФЛУКТУАЦИЙ	507
10.1. Скалярные флуктуации во время инфляции	508
Действие скалярного поля • Возмущения поля, плотности, давления и скорости • Уравнения поля • ВКБ-решение в ранние моменты времени • Разложение Фурье • Коммутационные соотношения • Вакуум Банча—Дэвиса • Гауссова статистика • Возмущение кривизны \mathcal{R} • Уравнение Муханова—Сасаки • Предел \mathcal{R}_q^r вне горизонта • Число e -кратностей после выхода из-под горизонта • Экспоненциальный потенциал • Измерение силы спектрального индекса и флуктуаций • Значения параметров экспоненциального потенциала • Подтверждение простого действия	
10.2. Тензорные флуктуации во время инфляции	524
Уравнения гравитационного поля • ВКБ-решение в ранние моменты времени • Разложение Фурье • Коммутационные соотношения • Отношение скаляр/тензор r • Наблюдательные границы на r	
10.3. Флуктуации во время инфляции: приближение медленного скатывания	527
Параметры ε и δ • Приближение медленного скатывания • Сила спектрального индекса и флуктуаций • Наблюдательные ограничения на потенциал • Число e -кратностей после выхода из-под горизонта	
10.4. Мультиполевая инфляция	537
Гауссовы, адиабатические, масштабно-инвариантные и слабые флуктуации • Тепловое равновесие после инфляции • Уравнения эволюции • ВКБ-решение в ранние моменты времени • Реперы • Коммутационные соотношения • Условия медленного скатывания • Кривизна \mathcal{R} после выхода из-под горизонта • Что мы узнали об инфляции?	
Приложение А. Некоторые полезные числа	548
Приложение В. Обзор общей теории относительности	549
Приложение С. Обмен энергией между излучением и электронами	563
Приложение Д. Эргодическая теорема	568
Приложение Е. Гауссовские распределения	569

Приложение F. Ньютоновская космология	570
Приложение G. Поляризация фотонов	573
Приложение H. Релятивистское уравнение Больцмана	575
Словарь обозначений	585
Подборка задач	591
Именной указатель	594
Предметный указатель	601