

# Гравитация и космология

Лектор: д.ф.м.н. Д.В.Фурсаев

Осенний и весенний семестры

Данные лекции предназначены для студентов 2-3 курсов теоретической специализации или для студентов 4-5 курсов иных специализаций, включая экспериментальные. Цикл лекций ставит своей целью дать представление о физических и математических основах общей теории относительности, а также о наиболее важных экспериментальных данных и теоретических концепциях в космологии, физике черных дыр и других областях. Изложение материала сопровождается набором из 5-10 задач к каждой лекции. Часть задач разбирается в аудитории, остальные задачи студенты сдают лектору.

Программа курса.

## **1. Специальная теория относительности.**

- 1.1. Исторические факты.
- 1.2. Постулаты специальной теории относительности.
- 1.3. Ускоренные наблюдатели в специальной теории относительности.

## **2. Основы общей теории относительности.**

- 2.1. Принцип эквивалентности.
- 2.2. Метрика
- 2.3. Одновременные события и физические расстояния

## **3. Основы математического аппарата ОТО.**

- 3.1. Вектора, реперы, тензоры.
- 3.2. Параллельный перенос и ковариантные производные

## **4. Геодезические**

- 4.1. Геодезические
- 4.2. Перенос Ферми-Уолкера
- 4.3. Нерелятивистский предел

## **5. Кривизна**

- 5.1. Девиация геодезических
- 5.2. Тензора Римана, его свойства и геометрический смысл

## **6. Уравнения гравитационного поля**

- 6.1. Тензор энергии-импульса
- 6.2. Уравнения Эйнштейна
- 6.3. Энергетические условия и космологическая постоянная

## **7. Гравитационное поле массивных источников и основные эффекты ОТО**

- 7.1. Решение Шварцшильда
- 7.2. Отклонение лучей света в гравитационном поле
- 7.3. Смещение перигелия орбиты планет

## **8. Прецессия гироскопов**

- 8.1. Общее уравнение прецессии в ОТО
- 8.2. Ориентация ускоренных наблюдателей в плоском пространстве
- 8.3. Томасова прецессия

## **9. Эффект Лензе-Тирринга и геодезическая прецессия**

- 9.1. Слабое гравитационное поле
- 9.2. Репер, задающий направления в поле вращающегося источника
- 9.3. Эксперимент "Гравитационный зонд"

## **10. Черные дыры: геометрия Шварцшильда**

- 10.1. Что такое черные дыры и существуют ли они?
- 10.2. Неаналитичность и неполнота координат Шварцшильда

## **11. Геометрия вечной черной дыры**

- 11.1. Координаты Крускала-Шекереса
- 11.2. "Геометрия в целом" и диаграммы Картера-Пенроуза
  - 11.2.1. Пространство Минковского
  - 11.2.2. Черная дыра

## **12. Гравитационный коллапс**

- 12.1. Статическая звездная модель
- 12.2. Коллапс сферической оболочки

## **13. Описание систем отсчета в ОТО**

- 13.1. Ускорение, вращение и деформация
- 13.2. Система отсчета киллинговских наблюдателей
- 13.3. Вращение системы отсчета

## **14. Вращающаяся черная дыра**

- 14.1. Хронометрическая система отсчета
- 14.2. Горизонт и эргосфера
- 14.3. Система отсчета наблюдателей с нулевым угловым моментом
- 14.4. Извлечение энергии из черной дыры: процесс Пенроуза

## **15. Черные дыры, термодинамика и квантовая теория**

- 15.1. Черные дыры как термодинамические системы
- 15.2. Квантовое испарение черных дыр
- 15.3. Черные дыры и квантовая гравитация

## **16. Гравитационные волны I**

- 16.1. Линеаризованные уравнения Эйнштейна
- 16.2. Воздействие гравитационной волны на пробные частицы

## **17. Гравитационные волны II**

- 17.1. Квадрупольный характер гравитационного излучения
- 17.2. Энергия и спин гравитационной волны
- 17.3. Современные детекторы гравитационных волн

## **18. Космология**

- 18.1. Основные характеристики наблюдаемой Вселенной
- 18.2. Модель Фридмана
  - 18.2.1 Уравнения
  - 18.2.2 Распространение фотонов и z-фактор
  - 18.2.3 «Стандартные свечи» и измерение расстояний

## **19. Темная энергия и скрытая масса**

- 19.1. Далекие сверхновые и ускорение
- 19.2. Кривые вращения галактик
- 19.3. Анизотропия реликтового фона
- 19.4. Космологическая постоянная, скрытая масса и физика высоких энергий

## **20. Модели инфляции**

- 20.1. Основные трудности стандартной теории Большого Взрыва
  - 20.1.1 Проблема горизонта
  - 20.1.2 Проблема размера
  - 20.1.3 Проблема плоскостности
- 20.2. Ключевая идея инфляции
- 20.3. Первоначальная модель инфляции, хаотическая инфляция

## **21. Некоторые новые концепции**

- 21.1. Масштаб квантовой гравитации и модели «мира на бране»
- 21.2. Квантовое рождение микроскопических черных дыр на коллайдерах
- 21.3. Голографический принцип
- 21.4. AdS/CFT соответствие

## **Литература**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц. Теория поля. (2ой том курса теоретической физики) М: Наука, 1988.
2. С. Вейнберг, Гравитация и космология, М:, Мир, 1975.
3. Ч. Мизнер, К.Торн, Дж. Уиллер. Гравитация, 1-3 тт. М: Мир, 1977.

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. В. П. Фролов, И.Д. Новиков, Физика черных дыр, М:, Наука, 1986.
2. А. Д. Чернин, «Космический вакуум», Успехи Физических Наук 171 (2001) 1153.
3. В. А. Рубаков, «Большие и бесконечные дополнительные измерения» Успехи Физических Наук 171 (2001) 913.
4. А. Лайтман, В. Пресс, Р. Прайс, С. Тюкольски. Сборник задач по общей теории относительности и гравитации. М:, Мир, 1979