

# Астрофизика

## Лекторы:

Антон Шейкин



## Язык:

Русский

## Трудоемкость:

3 з.е.

## Форма контроля:

Дифф. зачет

## Образовательная программа:

Теоретическая и экспериментальная физика  
7 семестр

## Пререквизиты:

Теоретическая механика  
Электродинамика  
Специальная теория относительности  
Векторный и тензорный анализ

Лекции (ак.час)*	Практические занятия (ак.час)	Лабораторные занятия (ак.час)
16		
*1 академический час = 45 минутам		

Цель курса - обзор исторических предпосылок, основных постулатов и важнейших приложений специальной и общей теории относительности.

В первой части курса дан краткий обзор аксиом специальной теории относительности, ее геометрического смысла (пространство Минковского), экспериментального статуса и наблюдаемых эффектов: замедления времени, сокращения длины, эффекта Допплера и т.д. Далее обсуждается соотношение между энергией и импульсом, а также роль массы в СТО.

Вторая часть посвящена теории гравитации и начинается с разбора недостатков ньютоновской теории гравитации. Затем посредством эвристических мысленных экспериментов устанавливается связь между наличием гравитационного поля и искривлением пространства. После краткого изложения необходимого математического аппарата (тензоры, метрика, параллельный перенос) обсуждаются физически интересные модели. В частности, изучается гравитационное поле точечного объекта в приближении слабого поля и наблюдаемые пост-ньютоновские эффекты (смещение перигелия Меркурия, отклонение лучей света, гравитационное красное смещение). Также рассматриваются черные дыры (радиус Шварцшильда, горизонт событий, падение на горизонт) и гравитационные волны (свойства гравитационных волн, отличия от электромагнитных, излучение гравитационных волн и проблемы их обнаружения).

В третьей части излагаются основы космологии. Во введении обсуждаются проблемы и парадоксы ньютоновской космологии. Далее приводится метрика Фридмана и эвристический вывод уравнений Фридмана. Анализируются их решения для вселенной, заполненной материей различного вида, обсуждается эволюция этой материи и возможные сценарии будущего вселенной. Кратко обсуждаются также проблемы современной космологии, в частности, проблема темной материи в различных ее проявлениях (формирование структур, кривые вращения галактик, гравитационное линзирование).

В заключительной части курса дается краткий обзор возможных расширений ОТО и подходов к ее квантованию.

## Содержание курса

### 7 семестр

### Астрофизика

#### Структура курса

Разделы	Лекции (ак.ч.)
<b>1. Специальная теория относительности: современное изложение</b>	
1. Мотивация создания СТО. Проблема эфира. Преобразования Лоренца. 2. Тензорный анализ. Тензоры на различных группах. Пространство-время Минковского. Релятивистская кинематика.	2
<b>2. Основы общей теории относительности</b>	
1. Проблемы ньютоновской гравитации. Предпосылки создания ОТО. Мысленные эксперименты Эйнштейна. Гравитация как искривление пространства. 2. Элементы римановой геометрии. Метрика. Ковариантное дифференцирование. Параллельный перенос и связность. Тензор кривизны. 3. Движение в искривленном пространстве. Уравнение геодезической. 4. Уравнения гравитационного поля. Тензор Эйнштейна и тензор энергии-импульса.	4
<b>3. Приложения общей теории относительности в астрофизике.</b>	
1. Ньютоновский предел. Идея пост-ньютоновского разложения. Классические тесты ОТО. 2. Поле точечного источника. Метрика Шварцшильда в различных координатах. Горизонт событий. Падение на горизонт. Диаграмма Крускала. 3. Заряд и момент черной дыры. Теорема об отсутствии волос. Излучение Хокинга. Термодинамика черных дыр. 4. Степени свободы гравитационного поля. Гравитационные волны. Излучение гравитационных волн.	6
<b>4. Открытые проблемы теории гравитации, астрофизики и космологии</b>	
1. Зарождение релятивистской космологии. Однородность и изотропия вселенной. Первое уравнение Фридмана. Закон Хаббла. 2. Материя во вселенной. Второе уравнение Фридмана. Уравнение состояния. Эпохи развития вселенной. Большой Взрыв. 3. Темная материя. Кривые вращения галактик, формирование структур и линзирование. Темная энергия и будущее Вселенной. Инфляционная эпоха. 4. Модификации ОТО. Проблемы квантования гравитации.	4

#### Рекомендуемые ресурсы

1. Угаров В.А. Специальная теория относительности. М.:URSS, 2010. - 384 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том 2. Теория поля / под. ред. Л.П. Питаевского. — 9-е изд., стер. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2018. - 508 с.
3. Вейнберг С. Гравитация и космология. М.: Наука, 1975. - 696 с.
4. Новиков И.Д., Фролов В.П. Физика черных дыр. М.: Наука, 1986. - 328 с.
5. Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной: Теория горячего Большого взрыва. Изд. 3, перераб. и значит. доп. М.:URSS, 2016. - 616 с.
6. Лайтман А., Пресс В., Прайс Р., Тюкольски С. Сборник задач по теории относительности и гравитации. М.: Мир, 1979. - 536 с.

#### Политика оценивания

##### Оценочные средства дисциплины: домашнее задание, коллоквиум, дифф. зачет.

Домашнее задание: на каждой лекции студентам выдается несколько заданий, которые они могут выполнять дома и присылать решения преподавателю по электронной почте или очно.

Коллоквиум: студент аттестуется при выполнении как минимум половины домашних заданий, выданных в первой половине семестра.

Дифф. зачет: для получения зачета с оценкой «отлично» необходимо решить больше 75% домашних заданий, для получения оценки «хорошо» – больше 60%, для получения оценки «удовлетворительно» – больше 50%. При выполнении менее 50% домашних заданий студенту ставится оценка «неудовлетворительно».

## Тип самостоятельных заданий

Пример домашнего задания:

Задача 1. Вывести из инвариантности силы Лоренца закон преобразования электрического и магнитного поля при преобразованиях Галилея, затем исследовать, какие из уравнений Максвелла не являются инвариантными при таких преобразованиях.

Задача 2. Показать, что закон Хаббла является единственным видом связи между масштабным фактором и его производной, совместимым с однородностью и изотропией трехмерного пространства.

Задача 3. Показать, что тензор энергии-импульса идеальной жидкости является единственным симметричным тензором второго ранга, совместимым с однородностью и изотропией трехмерного пространства.

Задача 4. Найти координатную сетку для метрики Шварцшильда, которая была бы гладкой при значении радиальной координаты, равном радиусу Шварцшильда.

Задача 5. Показать, что антисимметричная часть связности является тензором (тензор кручения).