

Введение в релятивистскую теорию тяготения

Лектор: к.ф.-м.н., доцент Ширмин Геннадий Иванович
(кафедра небесной механики, астрометрии и гравиметрии физического факультета МГУ)

Код курса:
Статус: По выбору
Аудитория: специальный
Семестр: 5
Трудоёмкость: 2 з.е.
Лекций: 36 часов
Семинаров:
Практ. занятий:
Отчётность: Экзамен (зачет)
Начальные компетенции: С-ОНК-1, С-ОНК-4, С-ОНК-5, С-ОНК-6
Приобретаемые компетенции: С-СК-3, С-ИК-3, С-ПК-1, С-ПК-2, С-ПК-4

Аннотация курса

Лекционный курс представляет введение в специальную теорию относительности как релятивистскую теорию пространства и времени, а также введение в общую теорию относительности как релятивистскую теорию тяготения.

Излагаются основы римановой геометрии и тензорного анализа в качестве математического аппарата теории А.Эйнштейна.

В рамках курса слушатели знакомятся с историей развития представлений о пространстве времени и тяготении (от Аристотеля до Эйнштейна), а также приобретают практические навыки владения аппаратом тензорного исчисления.

Образовательные технологии

Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП

Курс является теоретической основой релятивистской астрономии и является введением в лекционные курсы релятивистской небесной механики, релятивистской астрометрии, релятивистской астрофизики и космологии.

Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего

Научная работа по дисциплинам специализации “небесной механика” и специализации “астрометрия”.

Основные учебные пособия, обеспечивающие курс

1. Лукьянов Л.Г., Ширмин Г.И. Лекции по небесной механике. Учебное пособие для высших учебных заведений. Алматы: Эверо, 2009. 277 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. 8-е изд., стер., М.: Наука, 2001, 530 с.
3. Зельманов А.Л., Агаков В.Д. Элементы общей теории относительности. Москва: Наука, 1989, 240 с.

Основные методические работы, обеспечивающие курс

Список учебников и монографий представлен на сайте ГАИШ:
http://www.sai.msu.ru/neb/rw/cm_monog.htm

Основные научные статьи, обеспечивающие курс

Сажин М.В. Современная космология в популярном из-

Контроль успеваемости

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях и уровень подготовки к очередной лекции.

Программа курса по неделям освоения

Представления о пространстве, времени и тяготении в классической физике. Основные положения теории относительности А.Эйнштейна как релятивистской теории пространства, времени и тяготения (Лекция 1) .

Основные понятия тензорного исчисления. Алгебра четырехмерных тензоров специальной теории относительности. Основные дифференциальные операции четырехмерного тензорного анализа. Четырехмерные аналоги теорем Гаусса и Стокса. Преобразования Лоренца как преобразования поворота в четырехмерном псевдоевклидовом пространстве. Четырехмерная геометрия в криволинейных координатах. Тензоры в четырехмерном псевдоримановом пространстве. Фундаментальный метрический тензор. Основы общей теории относительности. Принцип эквивалентности инерции и тяготения. Гравитация как свойство пространства-времени. Общий принцип относительности, принцип общей ковариантности и произвольность четырехмерной системы координат в общей теории относительности. Измерение промежутков времени и расстояний в общей теории относительности. Метрический тензор трехмерного пространства. Понятие одновременности событий и процедура синхронизации часов в общей теории относительности (Лекции 2 – 4).

Тензорный анализ как абсолютное дифференциальное исчисление. Понятие параллельного переноса вектора в псевдоримановом пространстве. Ковариантные и контравариантные производные четырехмерных векторов и тензоров. Символы Кристоффеля и их свойства. Тензор кручения пространства. Псевдориманово пространство общей теории относительности как искривленное пространство без кручения. Ковариантные аналоги дифференциальных операторов теории поля. Движение частицы в гравитационном поле как свободное движение по геодезической линии в искривленном пространстве. Траектория луча света в гравитационном поле как изотропная геодезическая (Лекция 5 – 6).

Предельный случай слабого гравитационного поля и медленных движений. Компоненты псевдоримановой метрики как потенциалы гравитационного поля. Постоянные (статическое и стационарное) гравитационные поля. Мировое время и его смысл. Световой луч в слабом гравитационном поле и эффект гравитационного красного смещения. Энергия весомой частицы в стационарном поле вращающейся системы отсчета. Типы интегралов в псевдоримановом пространстве общей теории относительности. Теоремы Гаусса и Стокса в криволинейных координатах. Параллельный перенос вектора вдоль геодезической линии в искривленном пространстве. Тензор кривизны Римана-Кристоффеля как результат параллельного переноса четырехмерного вектора по замкнутому контуру. Дифференциальное уравнение девиации геодезических. Свойства симметрии тензора кривизны. Тождество Бьянки. Тензор Риччи, скалярная кривизна и условия плоскостности пространства-времени (Лекции 7 - 9).

Гравитационное поле как пример динамической системы физической природы. Фундаментальные метрические коэффициенты как параметры состояния гравитационного поля. Структура функционала действия для гравитационного поля. Вариационный принцип и первая вариация действия для гравитационного поля. Тензор энергии-импульса физической системы. Симметричное выражение тензора энергии-импульса. Уравнения Киллинга как усло-

вия неизменности псевдоримановой метрики при преобразованиях четырехмерных координат (Лекция 10 - 12).

Релятивистский закон сохранения энергии-импульса материи в форме равенства нулю ковариантной дивергенции тензора энергии-импульса. Вывод уравнений гравитационного поля из вариационного принципа стационарного действия. Тензор Эйнштейна. Различные формы уравнений гравитационного поля Эйнштейна. Закон сохранения энергии-импульса материи и связь уравнений движения с уравнениями поля. Сопоставление уравнений Эйнштейна с уравнениями электромагнитного поля Максвелла и уравнениями Лапласа и Пуассона классической ньютоновой теории тяготения. Метрика пространства-времени как решение уравнений поля Эйнштейна. Единая теория поля Эйнштейна и проблема геометризации фундаментальных физических взаимодействий (Лекции 13 – 15).

Псевдотензор энергии-импульса гравитационного поля. Проблема локализации энергии гравитационного поля в общей теории относительности. Общая теория относительности как релятивистская теория тяготения. Альтернативные теории гравитации (Лекции 16 – 17).

Космологическая постоянная. Уравнения гравитационного поля с космологическим членом Эйнштейна. Общая теория относительности как основа релятивистской космологии (Лекция 18).