

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ АСТРОМЕТРИИ И ГРАВИМЕТРИИ

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

МГУ

_____/ Н.Н. Сысоев /

«__» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Введение в общерелятивистскую теорию траекторий

Уровень высшего образования:

Специалитет

Направление подготовки:

03.05.01 Астрономия

Направленность (профиль) ОПОП:

Общая специальность

Квалификация «Специалист»

Форма обучения: Очная форма обучения

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

Ученым советом физического факультета МГУ

(протокол № _____, _____)

Москва 20__

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.01 Астрономия.

Год (годы) приема на обучение _____

Авторы–составители:

1. К.ф.-м.н., доцент, Ширмин Геннадий Иванович, кафедра небесной механики, астрометрии и гравиметрии физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н. профессор Жаров Владимир Евгеньевич

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Введение в релятивистскую теорию тяготения»

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.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Форма обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

1. Дисциплина «Введение в релятивистскую теорию тяготения» реализуется на 6-м курсе в 11-ом семестре и является составной частью профессионального блока вариативной части.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Отсутствуют.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1.Б	З-1 Знать: базовые астрономические и физико-математические теории и их взаимосвязь З-2 Знать: знать математический аппарат небесной механики и ОТО; У-1 Уметь: применять базовые астрономические и физико-математические теории в научных исследованиях В-1 Владеть: математическим аппаратом, применяемым в небесной механике и ОТО В-2 Владеть: методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике
ОПК-1.Б	З-1 Знать: основные математические методы, используемые при решении задач небесной механики У-1 Уметь: : решать типовые задачи небесной механики У-2 Уметь: строить математические модели явлений и процессов небесной механики

4. **Форма обучения:** очная.

5. **Язык обучения:** русский.

6. **Содержание дисциплины**

Раздел 1. Основные положения ОТО.

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

Раздел 2. Тензорные исчисления.

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

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

3. Слабое гравитационное взаимодействие

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. Тожество Бьянки. Тензор Риччи, скалярная кривизна и условия плоскостности пространства-времени

Раздел 4. Тензор энергии-импульса. Уравнения в ОТО

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 условия 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

Раздел 5 Общая теория относительности как релятивистская теория тяготения.

Псевдотензор энергии-импульса гравитационного поля. Проблема локализации энергии гравитационного поля в общей теории относительности. Общая теория относительности как релятивистская теория тяготения. Альтернативные теории гравитации

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

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе			Самостоятельная работа студентов
			ауд. занятий			
		Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров		
Введение в общерелятивистскую теорию траекторий	2	72	36	36	0	36

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Введение в общерелятивистскую теорию траекторий» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; предусматривается углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным занятиям. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Основные положения ОТО.		4	-	-	4	Собеседование, опрос
2	Тензорные исчисления.		8	-	-	8	

3	Слабое гравитационное взаимодействие		8	-	-	8	
4	Тензор энергии-импульса. Уравнения в ОТ		8	-	-	8	
5	Общая теория относительности как релятивистская теория тяготения.		8	-	-	8	
	Промежуточная аттестация						Зачет в форме письменной работы с последующим собеседованием
ИТОГО:		72	36	-	-	36	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация. Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний прочитанной части курса.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, а также уровень подготовки к лекциям и степень освоения материала прочитанной части курса.

Текущий контроль по дисциплине «Введение в общерелятивистскую теорию траекторий» осуществляется на лекциях и заключается в оценке посещаемости, активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается уровень подготовки к лекциям и степень освоения материала прочитанной части курса.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Основы механики звёздных движений» проводится в весеннем семестре в форме зачета. Зачет в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

Результаты сдачи зачета оцениваются по шкале «зачет», «незачет», Оценка «зачет», означает успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний студента по изученной теме.	Образцы тестов
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов и задач к экзамену, зачету, контрольной работе
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	незачет	зачет		
ЗНАТЬ: базовые астрономические и физико-математические теории и их	Отсутствие знаний базовых астрономических и физико-математических теорий и их	В целом успешные, но не систематические знания базовых	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы	Успешные и систематические знания базовых астрономических и физико-математических

взаимосвязь УК-1.Б 3-1	взаимосвязей	астрономическ их и физико- математически х теорий и их взаимосвязей	знания базовых астрономическ их и физико- математически х теорий и их взаимосвязей	теорий и их взаимосвязей
ЗНАТЬ: знать математическ ий аппарат теоретической астрономии и небесной механики; УК-1.Б 3-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание математическог о аппарата теоретической астрономии и небесной механики;	В целом успешное, но не систематическо е знание математическо го аппарата теоретической астрономии и небесной механики;	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы знание математическо го аппарата теоретической астрономии и небесной механики;	Успешное и систематическое знание математического аппарата теоретической астрономии и небесной механики;
ЗНАТЬ: основные математическ ие методы, используемые при решении задач небесной механики ОПК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных математических методов, при решении задач небесной механики	В целом успешное, но не систематическо е применение основных математически х методов, при решении задач небесной механики	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы знание основных математически х методов, при решении задач небесной механики	Успешное и систематическое знание основных математических методов, при решении задач небесной механики
УМЕТЬ: применять базовые астрономичес кие и физико- математическ ие теории в научных исследования х УК-1.Б У-1	Отсутствие умения применять базовые астрономически е и физико- математические теории в научных исследованиях	В целом успешное, но не систематическо е умение применять базовые астрономическ ие и физико- математически е теории в научных исследованиях	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение применять базовые астрономическ ие и физико- математически е теории в научных исследованиях	Успешное и систематическое умение применять базовые астрономически е и физико- математические теории в научных исследованиях
УМЕТЬ: решать типовые	Отсутствие умения решать типовые задачи	В целом успешное, но не	В целом успешно е, но	Успешное и систематическое умение решать

задачи небесной механики ОПК-1.Б У-1	небесной механики	систематическое умение решать типовые задачи небесной механики	содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи небесной механики	типовые задачи небесной механики
УМЕТЬ: строить математические модели явлений и процессов небесной механики ОПК-1.Б У-2	Отсутствие умения строить математические модели явлений и процессов небесной механики	В целом успешное, но не систематическое умение строить математические модели явлений и процессов небесной механики	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение строить математические модели явлений и процессов небесной механики	Успешное и систематическое умение строить математические модели явлений и процессов небесной механики
ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым в небесной механике УК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, применяемым в небесной механике	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в небесной механике	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, применяемым в небесной механике	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в небесной механике
ВЛАДЕТЬ: методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике УК-1.Б В-2	Отсутствие/фрагментарное владение методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике	В целом успешное, но не систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике	Успешное и систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в небесной механике

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Список задач:

1 вариант

- 1). Представления о пространстве, времени и тяготении в классической физике..
- 2). Четырехмерные аналоги теорем Гаусса и Стокса.
- 3). Принцип эквивалентности инерции и тяготения.

2 вариант

- 1). Основные положения релятивистской теории пространства, времени и тяготения .
- 2). Преобразования Лоренца как преобразования поворота в (четырёхмерном) псевдоевклидовом пространстве.
- 3). Гравитация как свойство пространства-времени.

3 вариант

- 1). Основные понятия тензорного исчисления. Алгебра четырехмерных тензоров специальной теории относительности.
- 2). Четырёхмерная геометрия в криволинейных координатах.
- 3). Общий принцип относительности как принцип общей ковариантности .

4 вариант

- 1). Основные дифференциальные операции четырехмерного тензорного анализа.
- 2). Фундаментальный метрический тензор псевдоримановой геометрии.
- 3). Одновременность событий и синхронизация часов в общей теории относительности.

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к зачету:

1. Предмет, методы и физические основы классической механики.
2. Основные положения теории относительности А. Эйнштейна.
3. Алгебра четырехмерных тензоров специальной теории относительности.
4. Четырёхмерные аналоги теорем Гаусса и Стокса.
5. Преобразования Лоренца как преобразования поворота в четырёхмерном пространстве .
6. Принцип эквивалентности инерции и тяготения.
7. Гравитация как свойство пространства-времени.
8. Измерение промежутков времени и расстояний в общей теории относительности.
9. Одновременность событий и синхронизация часов в общей теории относительности.
10. Тензорный анализ как абсолютное дифференциальное исчисление.
11. Ковариантные и контравариантные производные четырехмерных векторов и тензоров.
12. Символы Кристоффеля и их свойства. Тензор кручения пространства.
13. Ковариантные аналоги дифференциальных операторов теории поля.
14. Движение частицы в гравитационном поле как свободное движение по геодезической.
15. Траектория луча света в гравитационном поле как изотропная геодезическая.
16. Тензор кривизны Римана-Кристоффеля и его свойства. Тензор и скаляр Риччи.
17. Гравитационное поле как пример динамической системы физической природы.

18. Метрические коэффициенты как параметры состояния гравитационного поля.
19. Тензор энергии-импульса физической системы.
20. Релятивистский закон сохранения энергии-импульса материи.
21. Вывод уравнений гравитационного поля из вариационного принципа.
22. Связь уравнений движения с уравнениями гравитационного поля.
23. Метрика пространства-времени как решение уравнений поля Эйнштейна.

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература

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.

Дополнительная литература

Сажин М.В. Современная космология в популярном изложении, Москва, УРСС, 2002, 238 с.

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Астрономия».

Курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.