

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

Наименование дисциплины:

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ АСТРОНОМОВ

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:

Д.ф.-м.н., профессор Сажин Михаил Васильевич, кафедра небесной механики, астрометрии и гравиметрии физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

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

**Аннотация к рабочей программе дисциплины
«Общая теория относительности для астрономов»**

Дисциплина «Общая теория относительности для астрономов» является составной частью профессионального блока вариативной части. Читается студентам астрономического отделения в 9-ом семестре физического факультета МГУ им. Ломоносова. На лекциях и семинарских занятиях студенты получают базовые знания об общей теории относительности, о применении теории относительности в астрономии. В рамках курса студенты познакомятся с основными явлениями и понятиями релятивистской физики: уравнениями движения в ОТО, уравнениями поля ОТО, а также эффектом Допплера, задержкой лучей света в гравитационном поле, эффектом гравитационной линзы и релятивистскими редуциями в астрономических наблюдениях. Будут рассмотрены основные точные решения в ОТО: метрика Шварцшильда и метрика Фридмана, а также их применение в астрономии.

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

Дисциплина «Общая теория относительности для астрономов» реализуется в 9-ом семестре и является составной частью профессионального блока вариативной части.

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

Знания основ математического анализа.

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: основные явления и понятия релятивистской физики З-2 Знать: основные точные решения общей теории относительности У-1 Уметь: вычислять ряд основных эффектов в общей теории относительности У-2 Уметь: выписывать и решать полевые уравнения общей теории относительности В-1 Владеть: математическим аппаратом, применяемым в общей теории относительности
ОПК-1.Б	З-1 Знать: основные математические методы, используемые при решении практических задач общей теории относительности У-1 Уметь: решать типовые задачи общей теории относительности У-2 Уметь: строить математические модели релятивистских систем В-1 Владеть: навыками интерпретации результатов построенных моделей

4. Форма обучения: очная.

5. Язык обучения: русский.

6. Содержание дисциплины

Тема 1. Специальная теория относительности. Понятия и методы.

Тема 2. Эффект Доплера, релятивистская абберация.

Тема 3. Общая теория относительности. Основные идеи и методы.

Тема 4. Метрика искривленного пространства-времени.

Тема 5. Уравнение геодезической линии.

Тема 6. Тензор кривизны. Свойства тензора кривизны.

Тема 7. Лагранжиан гравитационного поля.

Тема 8. Уравнения гравитационного поля в общей теории относительности.

Тема 9. Темп течения времени в гравитационном поле.

Тема 10. Слабое гравитационное поле. Линеаризованная теория гравитации.

Тема 11. Основные эффекты ОТО в астрономии. Общерелятивистский эффект Доплера, темп течения времени, отклонение луча света в гравитационном поле Солнца, задержка лучей света при распространении в поле тяготеющих тел.

Тема 12. Явление гравитационной линзы.

Тема 13. Гравитационные волны.

Тема 14. Решение Шварцшильда, понятие черных дыр.

Тема 15. Решение Фридмана, расширение нашей Вселенной.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Общая теория относительности для астрономов	3	108	72	36	36	36

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

Изучение курса «Общая теория относительности для астрономов» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса, и семинары, на которых рассматривается практическое содержание курса, включая решение прикладных задач общей теории относительности. Также в изучение курса входит самостоятельная работа, заключающаяся в подготовке к лекционным занятиям и решению задач. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Специальная теория относительности.	7	3	-	3	3	Собеседование, опрос

2	Эффект Допплера, релятивистская аберрация.	7	3	-	3	3	
3	Общая теория относительности. Основные идеи и методы.	7	3	-	3	3	
4	Метрика искривленного пространства-времени.	7	3	-	3	3	
5	Уравнение геодезической линии.	7	2	-	2	2	
6	Тензор кривизны. Свойства тензора кривизны.	7	2	-	2	2	
7	Лагранжиан гравитационного поля.	7	3	-	3	2	
8	Уравнения гравитационного поля в общей теории относительности.	7	2	-	2	2	
9	Темп течения времени в гравитационном поле.	7	2	-	2	2	
10	Слабое гравитационное поле.	7	2	-	2	2	
11	Основные эффекты ОТО в астрономии.	7	2	-	2	2	
12	Явление гравитационной линзы.	7	2	-	2	2	
13	Гравитационные волны.	7	2	-	2	2	
14	Решение Шварцшильда, понятие черных дыр.	7	2	-	2	2	
15	Решение Фридмана, расширение нашей Вселенной.	7	3	-	3	2	
	Промежуточная аттестация	3				2	Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
ИТОГО:		108	36	-	36	36	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Общая теория относительности для астрономов» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Общая теория относительности для астрономов» проводится в 9-ом семестре в форме экзамена. Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают 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 аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к зачету
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			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: основные	Отсутствие знаний основных явлений и	В целом успешные, но	В целом успешно	Успешные и систематическ

явления и понятия релятивистской физики УК-1.Б 3-1	понятий релятивистской физики	не систематическое знание основных явлений и понятий релятивистской физики	е, но содержащее отдельные пробелы знания основных явлений и понятий релятивистской физики	ие знания основных явлений и понятий релятивистской физики
ЗНАТЬ: основные точные решения общей теории относительности УК-1.Б 3-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание основных точных решений общей теории относительности	В целом успешное, но не систематическое знание основных точных решений общей теории относительности	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знание основных точных решений общей теории относительности	Успешное и систематическое знание основных точных решений общей теории относительности
ЗНАТЬ: основные математические методы, используемые при решении практических задач общей теории относительности ОПК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных математических методов, используемых при решении практических задач общей теории относительности	В целом успешное, но не систематическое применение основных математических методов, используемых при решении практических задач общей теории относительности	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знание основных математических методов, используемых при решении практических задач общей теории относительности	Успешное и систематическое знание основных математических методов, используемых при решении практических задач общей теории относительности
УМЕТЬ: вычислять ряд основных эффектов в общей теории относительности УК-1.Б У-1	Отсутствие умения вычислять ряд основных эффектов в общей теории относительности	В целом успешное, но не систематическое умение вычислять ряд основных эффектов в общей теории относительности	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение вычислять ряд основных эффектов в общей теории относительности	Успешное и систематическое умение вычислять ряд основных эффектов в общей теории относительности

			ти	
УМЕТЬ: выписывать и решать полевые уравнения общей теории относительности УК-1.Б У-2	Отсутствие умения выписывать и решать полевые уравнения общей теории относительности	В целом успешное, но не систематическое умение выписывать и решать полевые уравнения общей теории относительности	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение выписывать и решать полевые уравнения общей теории относительности	Успешное и систематическое умение выписывать и решать полевые уравнения общей теории относительности
УМЕТЬ: решать типовые задачи общей теории относительности ОПК-1.Б У-1	Отсутствие умения решать типовые задачи общей теории относительности	В целом успешное, но не систематическое умение решать типовые задачи общей теории относительности	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи общей теории относительности	Успешное и систематическое умение решать типовые задачи общей теории относительности
УМЕТЬ: строить математические модели релятивистских систем ОПК-1.Б У-2	Отсутствие умения строить математические модели релятивистских систем	В целом успешное, но не систематическое умение строить математические модели релятивистских систем	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение строить математические модели релятивистских систем	Успешное и систематическое умение строить математические модели релятивистских систем
ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым в общей теории относительности УК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, применяемым в общей теории относительности	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в общей теории относительности	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, применяемым в общей теории относительности	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в общей теории относительности

			ти	
ВЛАДЕТЬ: навыками интерпретации результатов построенных моделей ОПК- 1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение навыками интерпретации результатов построенных моделей	В целом успешное, но не систематическое владение навыками интерпретации результатов построенных моделей	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение навыками интерпретации результатов построенных моделей	Успешное и систематическое владение навыками интерпретации результатов построенных моделей

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Контрольные вопросы и задачи:

1. Основные уравнения специальной теории относительности. Расчет кинематических характеристик движущихся материальных точек.
2. Формулировка эффекта Доплера, эффекта релятивистской аберрации.
3. Уравнение Эйнштейна общей теории относительности. Физический смысл.
4. Понятие метрики искривленного пространства-времени. Примеры метрик.
5. Вывод уравнения геодезической линии.
6. Определение и свойства тензора кривизны.
7. Понятие лагранжиана. Лагранжиан гравитационного поля.
8. Вывод уравнения гравитационного поля в общей теории относительности.
9. Примеры расчета темпа течения времени в гравитационном поле.
10. Вывод уравнений слабого гравитационного поля.
11. Вывод общерелятивистского эффекта Доплера, вывод формулы темпа течения времени, формулы отклонения луча света в гравитационном поле Солнца, формулы задержки лучей света при распространении в поле тяготеющих тел.
12. Уравнение гравитационной линзы.
13. Уравнение гравитационных волн.
14. Вывод решения Шварцшильда. Понятие горизонта событий черной дыры. Геодезические в метрике Шварцшильда.
15. Уравнения Фридмана. Понятие расширения нашей Вселенной.

Готовится печатное учебно-методическое пособие

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

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Темы к экзамену определяются согласно вышеприведенному плану лекций. Готовится печатное учебно-методическое пособие.

Тема 1. Специальная теория относительности. Понятия и методы.

Тема 2. Эффект Доплера, релятивистская аберрация.

Тема 3. Общая теория относительности. Основные идеи и методы.

Тема 4. Метрика искривленного пространства-времени.

- Тема 5. Уравнение геодезической линии.
Тема 6. Тензор кривизны. Свойства тензора кривизны.
Тема 7. Лагранжиан гравитационного поля.
Тема 8. Уравнения гравитационного поля в общей теории относительности.
Тема 9. Темп течения времени в гравитационном поле.
Тема 10. Слабое гравитационное поле. Линеаризованная теория гравитации.
Тема 11. Основные эффекты ОТО в астрономии. Общерелятивистский эффект Доплера, темп течения времени, отклонение луча света в гравитационном поле Солнца, задержка лучей света при распространении в поле тяготеющих тел.
Тема 12. Явление гравитационной линзы.
Тема 13. Гравитационные волны.
Тема 14. Решение Шварцшильда, понятие черных дыр.
Тема 15. Решение Фридмана, расширение нашей Вселенной.

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

Основная литература.

1. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теория поля т.2.М. Наука, 1988
2. С.Вейнберг. Гравитация и космология. Изд.Мир, 1975.

Дополнительная литература.

1. М. В. Сажин, И. Ю. Власов, О. С. Сажина, В.Г.Турышев. «Радиоастрон»: релятивистское изменение частоты и сдвиг шкалы времени. АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 2010, том 87, №11, с. 1043–1058.

Интернет-ресурсы.

М.В.Сажин. "Теория относительности для астрономов".

<http://www.astronet.ru/db/msg/1170927/index.html>

Материально-техническое обеспечение

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

Курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.