

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

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА АСТРОФИЗИКИ И ЗВЕЗДНОЙ АСТРОНОМИИ

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета
МГУ

_____ / Н.Н. Сысоев /

«__» _____ 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Современное развитие общей теории 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. Алексеев Станислав Олегович, отдел релятивистской астрофизики Государственного астрономического института имени П.К.Штернберга МГУ, кафедра квантовой теории и физики высоких энергий физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н. профессор Постнов Константин Александрович

Аннотация к рабочей программе дисциплины
Современное развитие общей теории относительности для астрономов

Данный лекционный курс помогает студентам-астрономам понять современные подходы к развитию и обобщению общей теории относительности для решения вопросов об ее квантовании, объяснении проблем темной материи и темной энергии, то есть, современные теоретические подходы для интерпретации астрономических данных. Курс основана на обзорных и оригинальных научных статьях.

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 «Современное развитие общей теории относительности для астрономов» реализуется на 6-ом курсе в 11-ом семестре и является составной частью профессионального блока вариативной части.

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

Курс является продолжением и развитием курсов по общей теории относительности и современной космологии для астрономов

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: фундаментальные основы методов построения теорий гравитации З-2 Знать: основные способы расширения общей теории относительности У-1 Уметь: строить теоретические модели гравитации, используя критический анализ данных У-2 Уметь: выявлять и устранять теоретические несогласованности модели В-1 Владеть: математическим аппаратом, применяемым в общей теории относительности и смежных областях В-2 Владеть: методами теоретического исследования явлений и

	процессов в гравитации
ОПК-1.Б	З-1 Знать: основные математические методы, используемые при построении расширенных моделей гравитации У-1 Уметь: решать типовые задачи общей теории относительности и расширенных моделей гравитации У-2 Уметь: строить математические модели явлений и процессов в гравитации В-1 Владеть: навыками построения новых моделей на основе имеющихся экспериментальных и наблюдательных данных

1. **Форма обучения:** очная.

2. **Язык обучения:** русский.

3. **Содержание дисциплины**

Тема 1

Современные астрофизические подтверждения ОТО. Применения ОТО в астрофизике. Нерешенные проблемы. Пути дальнейшего развития.

Тема 2

Способы решения задач в ОТО. Подстановка метрики в действие или прямое получение уравнений Эйнштейна. Компьютерные аналитические системы для решения задач в ОТО.

Тема 3

Ньютоновский предел. Параметризованный пост-ньютоновский формализм (ППН) различных порядков. Применение к проверке моделей гравитации: «дорожная карта» получения ППН параметров модели

Тема 4

Термодинамика черных дыр. Законы термодинамики и современные обсуждения.

Проблемы расширения 2го начала. Информационный парадокс. Испарение черных дыр.

Методы Хокинга, Париха-Вильчека, их достоинства и недостатки.

Тема 5

Свойства черных дыр с позиции удаленного наблюдателя. «Теорема об отсутствии волос». Эффект Пенроуза. Суперрадиация.

Тема 6

Квантование гравитации. Аналоги диаграмм Фейнмана. Контрчлены. Модели с поправками высших порядков по кривизне. Квазиклассическое приближение, его границы применимости.

Кротовые норы. Условия существования решения, допустимые виды материи, проблемы с устойчивостью решения. Возможные проявления в реальной Вселенной.

Тема 7

Теории инфляции. Вторичный разогрев. Модель Бранса-Дикке как первое расширение общей теории относительности (ОТО). Идеи П.Хиггса о введении в рассмотрение квадратичных членов. Лагранжианы Хиггса. Гравитация Лавлока. Струнные модели гравитации с поправками второго порядка по кривизне (гравитация Гаусса-Боннэ)

Тема 8

Многомерная гравитация. Модели с некомпактными дополнительными измерениями. Модель ADD. Черные дыры на LHC. Модели Randall-Sundrum. Модели DGP. Инфра-красные модификации ОТО. Проблема сильной связи. Модель Паули-Фирца и проблема ВанДама-Вельтмана-Захарова. Приливной заряд.

Тема 9

Модифицированная Ньютоновская динамика. Модели Хорндески. Кротовые норы в расширенных моделях гравитации. Космологическая эволюция в модели Бранса-Дикке. Отскок.

Тема 10

Петлевая квантовая гравитация. Переменные Аштекара. Квантование. Космологическая эволюция. Вселенная с отскоком. Петлевая космология.

Тема 11

Модели с нарушением лоренц-инвариантности. Массивный гравитон. Радиус Вайнштейна.

Тема 12

Конформная гравитация

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	
Современное развитие общей теории относительности для астрономов	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 «Современное развитие общей теории относительности для астрономов» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса и самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным занятиям. Темы, рассматриваются на лекциях и закрепляются самостоятельно, 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	Современные астрофизические подтверждения ОТО	2	-	-	-	2	Собеседование, опрос
2	Способы решения задач в ОТО	2	-	-	-	2	
3	Ньютоновский предел	2	-	-	-	2	
4	Термодинамика черных дыр	2	-	-	-	2	
5	Свойства черных дыр с позиции удаленного наблюдателя	2	-	-	-	2	
6	Квантование гравитации	2	-	-	-	2	
7	Теории инфляции	2	-	-	-	2	
8	Многомерная гравитация	4	-	-	-	4	
9	Модели Хорндески	2	-	-	-	2	
10	Петлевая квантовая гравитация	4	-	-	-	4	
11	Модели с нарушением лоренц- инвариантности	4	-	-	-	4	
12	Конформная гравитация	2	-	-	-	2	

	Промежуточная аттестация	2				2	Зачет/экзамен в форме собеседования
ИТОГО:		36	-	-	-	36	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Современное развитие общей теории относительности для астрономов» осуществляется на лекциях 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.

Аттестация по дисциплине «Современное развитие общей теории относительности для астрономов» проводится в форме зачета в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

Результаты сдачи зачета оцениваются по шкале «зачтено», «не зачтено».

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	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема	Перечень тем, изучаемых в рамках

вопросы)	и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	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
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену
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			
	не зачтено	зачтено		
ЗНАТЬ: фундаментальные основы методов построения	Отсутствие знаний фундаментальных основ методов построения	В целом успешные, но не систематические знания фундаментальн	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы	Успешные и систематические знания фундаментальных основ методов построения

теорий гравитации УК-1.Б 3-1	теорий гравитации	ых основ методов построения теорий гравитации	знания фундаментальн ых основ методов построения теорий гравитации	теорий гравитации
ЗНАТЬ: основные способы расширения общей теории относительно сти УК-1.Б 3-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание основных способов расширения общей теории относительности	В целом успешное, но не систематическое знание основных способов расширения общей теории относительности	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы знание основных способов расширения общей теории относительности	Успешное и систематическое знание основных способов расширения общей теории относительности
ЗНАТЬ: основные математические методы, используемые при построении расширенных моделей гравитации ОПК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных математических методов, используемых при построении расширенных моделей гравитации	В целом успешное, но не систематическое применение основных математических методов, используемых при построении расширенных моделей гравитации	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы знание основных математических методов, используемых при построении расширенных моделей гравитации	Успешное и систематическое знание основных математических методов, используемых при построении расширенных моделей гравитации
УМЕТЬ: строить теоретические модели гравитации, используя	Отсутствие умения строить теоретические модели гравитации, используя критический	В целом успешное, но не систематическое умение строить теоретические	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить	Успешное и систематическое умение строить теоретические модели гравитации, используя

критический анализ данных УК-1.Б У-1	анализ данных	модели гравитации, используя критический анализ данных	теоретические модели гравитации, используя критический анализ данных	критический анализ данных
УМЕТЬ: выявлять и устранять теоретические несогласованности модели УК-1.Б У-2	Отсутствие умения выявлять и устранять теоретические несогласованности модели	В целом успешное, но не систематическое умение выявлять и устранять теоретические несогласованности модели	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение выявлять и устранять теоретические несогласованности модели	Успешное и систематическое умение выявлять и устранять теоретические несогласованности модели
УМЕТЬ: решать типовые задачи общей теории относительности и расширенных моделей гравитации ОПК-1.Б У-1	Отсутствие умения решать типовые задачи общей теории относительности и расширенных моделей гравитации	В целом успешное, но не систематическое умение решать типовые задачи общей теории относительности и расширенных моделей гравитации	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи общей теории относительности и расширенных моделей гравитации	Успешное и систематическое умение решать типовые задачи общей теории относительности и расширенных моделей гравитации
УМЕТЬ: строить математические модели явлений и процессов в гравитации ОПК-1.Б У-2	Отсутствие умения строить математические модели явлений и процессов в гравитации	В целом успешное, но не систематическое умение строить математические модели явлений и процессов в	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение строить математические модели явлений и процессов в	Успешное и систематическое умение строить математические модели явлений и процессов в гравитации

		гравитации	гравитации	
ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым в общей теории относительности и смежных областях УК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, применяемым в общей теории относительности и смежных областях	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в общей теории относительности и смежных областях	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, применяемым в общей теории относительности и смежных областях	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в общей теории относительности и смежных областях
ВЛАДЕТЬ: методами теоретического исследования явлений и процессов в гравитации УК-1.Б В-2	Отсутствие/фрагментарное владение методами теоретического исследования явлений и процессов в гравитации	В целом успешное, но не систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в гравитации	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение методами теоретического исследования явлений и процессов в гравитации	Успешное и систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в гравитации
ВЛАДЕТЬ: навыками построения новых моделей на основе имеющихся экспериментальных и наблюдательных данных ОПК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение навыками построения новых моделей на основе имеющихся экспериментальных и наблюдательных данных	В целом успешное, но не систематическое владение навыками построения новых моделей на основе имеющихся экспериментальных и наблюдательных данных	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение навыками построения новых моделей на основе имеющихся экспериментальных и наблюдательных данных	Успешное и систематическое владение навыками построения новых моделей на основе имеющихся экспериментальных и наблюдательных данных

			х данных	
--	--	--	----------	--

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Вопрос 1

Современные астрофизические подтверждения ОТО. Применения ОТО в астрофизике. Нерешенные проблемы. Пути дальнейшего развития.

Вопрос 2

Способы решения задач в ОТО. Подстановка метрики в действие или прямое получение уравнений Эйнштейна. Компьютерные аналитические системы для решения задач в ОТО.

Вопрос 3

Ньютоновский предел. Параметризованный пост-ньютоновский формализм (ППН) различных порядков. Применение к проверке моделей гравитации: «дорожная карта» получения ППН параметров модели

Вопрос 4

Термодинамика черных дыр. Законы термодинамики и современные обсуждения.

Проблемы расширения 2го начала. Информационный парадокс. Испарение черных дыр.

Методы Хокинга, Париха-Вильчека, их достоинства и недостатки.

Вопрос 5

Свойства черных дыр с позиции удаленного наблюдателя. «Теорема об отсутствии волос». Эффект Пенроуза. Суперрадиация.

Вопрос 6

Квантование гравитации. Аналогии диаграмм Фейнмана. Контрчлены. Модели с поправками высших порядков по кривизне. Квазиклассическое приближение, его границы применимости.

Вопрос 7

Кротовые норы. Условия существования решения, допустимые виды материи, проблемы с устойчивостью решения. Возможные проявления в реальной Вселенной.

Вопрос 8

Теории инфляции. Вторичный разогрев.

Вопрос 9

Модель Бранса-Дикке как первое расширение общей теории относительности (ОТО). Идеи П.Хиггса о введении в рассмотрение квадратичных членов. Лагранжианы Хиггса.

Вопрос 10

Гравитация Лавлока. Струнные модели гравитации с поправками второго порядка по кривизе (гравитация Гаусса-Бонне)

Вопрос 11

Многомерная гравитация. Модели с некомпактными дополнительными измерениями. Модель ADD. Черные дыры на LHC.

Вопрос 12

Модели Randall-Sundrum. Модели DGP. Инфра-красные модификации ОТО. Проблема сильной связи. Модель Паули-Фирца и проблема ВанДама-Вельтмана-Захарова. Приливной заряд.

Вопрос 13

Модифицированная Ньютоновская динамика. Модели Хорндески.

Вопрос 14

Кротовые норы в расширенных моделях гравитации.

Вопрос 15

Космологическая эволюция в модели Бранса-Дикке. Отскок.

Вопрос 16

Петлевая квантовая гравитация. Переменные Аштекара. Квантование. Космологическая эволюция. Вселенная с отскоком. Петлевая космология.

Вопрос 17

Модели с нарушением лоренц-инвариантности. Массивный гравитон. Радиус Вайнштейна.

Вопрос 18

Конформная гравитация.

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

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопрос 1

Современные астрофизические подтверждения ОТО. Применения ОТО в астрофизике. Нерешенные проблемы. Пути дальнейшего развития.

Вопрос 2

Способы решения задач в ОТО. Подстановка метрики в действие или прямое получение уравнений Эйнштейна. Компьютерные аналитические системы для решения задач в ОТО.

Вопрос 3

Ньютоновский предел. Параметризованный пост-ньютоновский формализм (ППН) различных порядков. Применение к проверке моделей гравитации: «дорожная карта» получения ППН параметров модели

Вопрос 4

Термодинамика черных дыр. Законы термодинамики и современные обсуждения.

Проблемы расширения 2го начала. Информационный парадокс. Испарение черных дыр.

Методы Хокинга, Париха-Вильчека, их достоинства и недостатки.

Вопрос 5

Свойства черных дыр с позиции удаленного наблюдателя. «Теорема об отсутствии волос». Эффект Пенроуза. Суперрадиация.

Вопрос 6

Квантование гравитации. Аналоги диаграмм Фейнмана. Контрчлены. Модели с поправками высших порядков по кривизне. Квазиклассическое приближение, его границы применимости.

Вопрос 7

Кротовые норы. Условия существования решения, допустимые виды материи, проблемы с устойчивостью решения. Возможные проявления в реальной Вселенной.

Вопрос 8

Теории инфляции. Вторичный разогрев.

Вопрос 9

Модель Бранса-Дикке как первое расширение общей теории относительности (ОТО). Идеи П.Хиггса о введении в рассмотрение квадратичных членов. Лагранжианы Хиггса.

Вопрос 10

Гравитация Лавлока. Струнные модели гравитации с поправками второго порядка по кривизе (гравитация Гаусса-Бонне)

Вопрос 11

Многомерная гравитация. Модели с некомпактными дополнительными измерениями. Модель ADD. Черные дыры на LHC.

Вопрос 12

Модели Randall-Sundrum. Модели DGP. Инфра-красные модификации ОТО. Проблема сильной связи. Модель Паули-Фирца и проблема ВанДама-Вельтмана-Захарова. Приливной заряд.

Вопрос 13

Модифицированная Ньютоновская динамика. Модели Хорндески.

Вопрос 14

Кротовые норы в расширенных моделях гравитации.

Вопрос 15

Космологическая эволюция в модели Бранса-Дикке. Отскок.

Вопрос 16

Петлевая квантовая гравитация. Переменные Аштекара. Квантование. Космологическая эволюция. Вселенная с отскоком. Петлевая космология.

Вопрос 17

Модели с нарушением лоренц-инвариантности. Массивный гравитон. Радиус Вайнштейна.

Вопрос 18

Конформная гравитация.

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

Основная литература.

1. С. О. Алексеев, Е. А. Памятных, А. В. Урсулов и др., ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. Введение. Современное развитие и приложения // ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА URSS Москва, 2019. — 400 с.
2. Турышев С Г "Экспериментальные проверки общей теории относительности: недавние успехи и будущие направления исследований" УФН179 3–34 (2009)

Дополнительная литература.

1. Emanuele Berti, Enrico Barausse et al, Testing General Relativity with Present and Future Astrophysical Observations, Class.Quant.Grav. 32 (2015) 2430
2. Hao Wang et al, The GW170817/GRB 170817A/AT 2017gfo Association: Some Implications for Physics and Astrophysics, The Astrophysical Journal Letters, 851:L18 (2017)
3. Jeremy Sakstein, Tests of gravity with future space-based experiments, Phys. Rev. D 97, 064028 (2018)
4. Новиков И Д, Шацкий А А, Алексеев С О, Третьякова Д А "Идеи Я.Б. Зельдовича и современная космология Бранса—Дикке" УФН 184 379–386 (2014)
5. Алексеев С.О., Латош Б.Н., Прокопов В.А., Емцова Е.Д., Феноменологическое обобщение метрики с приливным зарядом, ЖЭТФ, Том 155, Вып. 5, стр. 847 (2019)

Интернет-ресурсы.

1. <https://ufn.ru/>

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: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.