



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)**

ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ (ШКОЛА)

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОП

Директор департамента ДТФИТ ИНТиПМ

____ д.п.н., проф. Т.Н. Гнитецкая
(подпись) (ФИО)



____ д.ф.-м.н., проф. К. В. Нефедев
(подпись) (И.О. Фамилия)

Научный руководитель ОП

«20» сентября 2023 г.

____ д.ф.-м.н., проф. Л. Л. Афремов
(подпись) (ФИО)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Теория гравитации

Специальность 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика
Специализация Фундаментальная физика и информатика

(Совместно с ИАПУ ДВО РАН, ТОИ ДВО РАН)

Форма подготовки: очная

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика, утвержденного приказом Минобрнауки России от 1 марта 2018 г. N 158 (с изменениями и дополнениями) Рабочая программа обсуждена на заседании департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий, протокол № 1 от «20» сентября 2023 г.
Директор департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий д.ф.-м.н., проф. К.В. Нефедев
Составитель: профессор, д.ф.-м.н. В.И. Белоконь.

Владивосток
2023

Оборотная сторона титульного листа РПД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий:

Протокол от «_____» _____ 20__ г. № _____

Директор департамента _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий:

Протокол от «_____» _____ 20__ г. № _____

Директор департамента _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

III. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий:

Протокол от «_____» _____ 20__ г. № _____

Директор департамента _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий:

Протокол от «_____» _____ 20__ г. № _____

Директор департамента _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Теория гравитации

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачётных единицы и 108 академических часов. Является дисциплиной части, формируемой участниками образовательных отношений, профессионального блока дисциплин, модуль фундаментальной физики, изучается в 10 семестре и завершается зачетом. Учебным планом предусмотрено проведение лекционных занятий в объеме 34 часов, практических – 36 часов, а также выделено 38 часов на самостоятельную работу студента.

Язык реализации: русский.

Цель: изучение основных положений теории гравитации и ее приложений к решению задач астрофизики. Знакомство с теорией тяготения является необходимым элементом современного образования студента, специализирующегося в области теоретической, математической и цифровой физики.

Задачи:

1. Изучение римановой геометрии пространства-времени, описание физических полей в искривленном пространстве-времени.
2. Формулировка уравнений гравитационного поля Эйнштейна, проблемы формулировки законов сохранения. Простейшие решения уравнений Эйнштейна, описание движения частиц в поле Шварцшильда, представление о черных дырах и основах современной космологии
3. Формирование знаний принципов применения методов общей теории относительности к решению задач астрофизики
4. Формирование умения квалифицированного проведения исследований в области теории тяготения и астрофизики.

Дисциплина «Теория гравитации» логически связана с содержанием следующих дисциплин: «Векторный и тензорный анализ», «Методы

математической физики», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Общая астрофизика» и других.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции: ПК-8.1; ПК-9.1

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
	<p>ПК-8 Способен применять методы научных исследований в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы и информационных технологий</p>	<p>ПК-8.1 Осуществляет введение в эксплуатацию, техническое обслуживание и текущий ремонт приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии</p>	<p>Знает основы математического обеспечения и программирования</p> <p>Умеет монтировать и настраивать составные части схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, применять методы научных экспериментальных и (или) теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии</p> <p>Владеет тестированием работы приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники при вводе их в эксплуатацию с учетом методов экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы и информационных технологий</p>

	<p>ПК-9 Способен вести научно-исследовательскую деятельность в области фундаментальных наук с использованием научной инфраструктуры, соответствующей современным технологическим требованиям</p>	<p>ПК-9.1 Организация и осуществление научно-исследовательской деятельности в области физики, направленной на развитие междисциплинарных и прикладных исследований</p>	<p>Знает теоретические основы фундаментальной физики, экспериментальное и математическое обоснование теорий и моделей физики; Знает нормы и правила при работе со спектральным оборудованием</p> <p>Умеет получать фундаментальные научные результаты, опираясь на собственную логику развития науки; Умеет проводить расчетные исследования на сертифицированных кодах в рамках поставленной задачи, оценивать погрешность результатов измерений</p> <p>Владеет навыками проведения фундаментальных и поисковых научных исследований в интересах обороны страны и безопасности государства; Владеет навыками проведения экспериментальных измерений на установках и стендах, сопоставления расчетных и экспериментальных данных</p>
--	---	---	--

I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ:

Цель: изучение основных положений теории гравитации и ее приложений к решению задач астрофизики. Знакомство с теорией тяготения является необходимым элементом современного образования студента, специализирующегося в области теоретической, математической и цифровой физики.

Задачи:

5. Изучение римановой геометрии пространства-времени, описание физических полей в искривленном пространстве-времени.
6. Формулировка уравнений гравитационного поля Эйнштейна, проблемы формулировки законов сохранения. Простейшие решения уравнений Эйнштейна, описание движения частиц в поле Шварцшильда, представление о черных дырах и основах современной космологии
7. Формирование знаний принципов применения методов общей теории относительности к решению задач астрофизики
8. Формирование умения квалифицированного проведения исследований в области теории тяготения и астрофизики.

Дисциплина «Теория гравитации» логически связана с содержанием следующих дисциплин: «Векторный и тензорный анализ», «Методы математической физики», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Общая астрофизика» и других.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции:

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
---	---	--	--

	<p>ПК-8 Способен применять методы научных исследований в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы и информационных технологий</p>	<p>ПК-8.1 Осуществляет введение в эксплуатацию, техническое обслуживание и текущий ремонт приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии</p>	<p>Знает основы математического обеспечения и программирования</p> <p>Умеет монтировать и настраивать составные части схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, применять методы научных экспериментальных и (или) теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии</p> <p>Владеет тестированием работы приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники при вводе их в эксплуатацию с учетом методов экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы и информационных технологий</p>
--	--	--	---

	<p>ПК-9 Способен вести научно-исследовательскую деятельность в области фундаментальных наук с использованием научной инфраструктуры, соответствующей современным технологическим требованиям</p>	<p>ПК-9.1 Организация и осуществление научно-исследовательской деятельности в области физики, направленной на развитие междисциплинарных и прикладных исследований</p>	<p>Знает теоретические основы фундаментальной физики, экспериментальное и математическое обоснование теорий и моделей физики; Знает нормы и правила при работе со спектральным оборудованием</p> <p>Умеет получать фундаментальные научные результаты, опираясь на собственную логику развития науки; Умеет проводить расчетные исследования на сертифицированных кодах в рамках поставленной задачи, оценивать погрешность результатов измерений</p> <p>Владеет навыками проведения фундаментальных и поисковых научных исследований в интересах обороны страны и безопасности государства; Владеет навыками проведения экспериментальных измерений на установках и стендах, сопоставления расчетных и экспериментальных данных</p>
--	---	---	--

II. ТРУДОЁМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачётных единицы и 108 академических часов. Является дисциплиной части, формируемой участниками образовательных отношений, профессионального блока дисциплин, модуль фундаментальной физики, изучается в 10 семестре и

завершается зачетом. Учебным планом предусмотрено проведение лекционных занятий в объеме 34 часов, практических – 36 часов, а также выделено 38 часов на самостоятельную работу студента.

III. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Форма обучения – очная

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося						Формы промежуточной аттестации
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР	Контроль	
1.	Раздел 1. Физические основы общей теории относительности	10	12	-	12	-	12	-	
2.	Раздел 2. Уравнения гравитационного поля	10	14	-	12	-	12	-	
3.	Раздел 3. Релятивистская космология	10	8	-	12	-	14	-	
	Итого:		34	-	36	-	38	-	Зачет

IV. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Раздел 1. Физические основы общей теории относительности

Тема 1. Релятивистская инвариантность законов физики

Закон всемирного тяготения и дальное действие. Электродинамика как релятивистская теория. Возможные направления совершенствования теории тяготения. Необходимость формулировки теории в рамках четырехмерного пространства-времени.

Тема 2. Основная идея релятивистской теории гравитации

Равенство инертной и гравитационной масс. Неинерциальные системы. Криволинейные координаты. Динамические и кинематические величины. Кривизна пространства – времени как результат гравитационного взаимодействия.

Тема 3. Основные сведения из римановой геометрии. Тензоры, метрика, связность, кривизна

Расстояния и промежутки времени. Ковариантное дифференцирование, связь символов Кристоффеля с метрическим тензором. Тензор кривизны и его свойства.

Раздел 2. Уравнения гравитационного поля

Тема 1. Тензор энергии-импульса и его связь с тензором Риччи

Общие свойства уравнений Эйнштейна. Предельный переход к уравнениям Ньютона.

Тема 2. Центральное-симметрическое гравитационное поле

Решения Шварцшильда и Рейсснера-Нордстрема. Движение в центральное-симметрическом гравитационном поле. Синхронная система отсчета.

Гравитационный коллапс. Уравнения поля в синхронной системе отсчета.

Решение для пылевидной материи.

Раздел 3. Релятивистская космология

Тема 1. Изотропное пространство.

Пространство постоянной кривизны. Открытая и закрытая изотропные модели. Красное смещение и закон Хаббла.

Тема 2. Горячая космологическая модель

Физика ранних этапов расширения однородной вселенной. Современные представления, темная материя и темная энергия.

V. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Раздел I. Риманова геометрия

Занятие 1. Элементы абсолютного пространства-времени

Псевдоевклидово пространство. Метрический тензор. Векторы и тензоры в криволинейных координатах

Занятие 2. Ковариантное дифференцирование.

Символы Кристоффеля. Ковариантное дифференцирование. Тензор кривизны.

Занятие 3. Свойства тензора кривизны

Тензор кривизны и тензор энергии – импульса.

Раздел II. Уравнения Эйнштейна

Занятие 4. Задача Шварцшильда

Сферическая симметрия. Выбор координат. Расчет компонент тензора кривизны.

Занятие 5. Движение материальной точки в поле силы тяжести.

Уравнение геодезической в поле тяжелой звезды. Поворот перигелия и замедление времени

Занятие 6. Решение Райсснера - Нордстрема»

Свойства тензора энергии электромагнитного поля с учетом гравитации. Метрика сферически-симметричного пространства электровакуума.

Занятие 7. Метрика Шварцшильда и устранение особенности на гравитационном радиусе.

Синхронная система отсчета. Гравитационный коллапс

Раздел III. Элементы космологии.

Занятие 8. Релятивистская космология

Открытая и закрытая метрики Вселенной. Красное смещение. Гравитационная устойчивость.

VI. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Код индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства – наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел 1. Физические основы общей теории относительности	ПК-8.1 Осуществляет введение в эксплуатацию, техническое обслуживание и текущий ремонт приборов, схем, устройств и установок	Знает основы математического обеспечения и программирования Умеет монтировать и настраивать составные части схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники	УО-2 ПР-2	
2	Раздел 2. Уравнения гравитационного поля	устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии	функционального назначения, применять методы научных экспериментальных и (или) теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии Владеет тестированием работы приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники при вводе их в эксплуатацию с учетом методов экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы и информационных технологий	УО-2 ПР-2	

3	Раздел 3. Релятивистская космология	ПК-9.1 Организация и осуществление научно- исследовательской деятельности в области физики, направленной на развитие междисциплинарн ых и прикладных исследований	<p>Знает теоретические основы фундаментальной физики, экспериментальное и математическое обоснование теорий и моделей физики; Знает нормы и правила при работе со спектральным оборудованием</p> <p>Умеет получать фундаментальные научные результаты, опираясь на собственную логику развития науки; Умеет проводить расчетные исследования на сертифицированных кодах в рамках поставленной задачи, оценивать погрешность результатов измерений</p> <p>Владеет навыками проведения фундаментальных и поисковых научных исследований в интересах обороны страны и безопасности государства; Владеет навыками проведения экспериментальных измерений на установках и стендах, сопоставления расчетных и экспериментальных данных</p>	УО-2 ПР-2	
	Зачет				УО-1

VII. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Самостоятельная работа определяется как индивидуальная или коллективная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства педагога, но по его заданиям и под его контролем. Самостоятельная работа – это познавательная учебная деятельность, когда последовательность мышления студента, его умственных и практических операций и действий зависит и определяется самим студентом.

Самостоятельная работа студентов способствует развитию

самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровней, что в итоге приводит к развитию навыка самостоятельного планирования и реализации деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение необходимыми компетенциями по своему направлению подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов:

- работа с основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами;
- самостоятельное ознакомление с лекционным материалом, представленным на электронных носителях, в библиотеке образовательного учреждения;
- подготовка реферативных обзоров источников периодической печати, опорных конспектов, заранее определенных преподавателем;
- поиск информации по теме с последующим ее представлением в аудитории в форме доклада, презентаций;
- подготовка к выполнению аудиторных контрольных работ;
- выполнение домашних контрольных работ;
- выполнение тестовых заданий, решение задач;
- составление кроссвордов, схем;
- подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции;
- заполнение рабочей тетради;
- написание эссе, курсовой работы;
- подготовка к деловым и ролевым играм;
- составление резюме;
- подготовка к зачетам и экзаменам;

другие виды деятельности, организуемые и осуществляемые образовательным учреждением и органами студенческого самоуправления.

VIII. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

(печатные и электронные издания)

1. Бабурова, О. В. Математические основы современной теории гравитации : монография / О. В. Бабурова, Б. Н. Фролов. — Москва : Прометей, 2012. — 127 с. — ISBN 978-5-7042-2362-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-18585&theme=FEFU>
2. Вергелес, С. Н. Теоретическая физика. Общая теория относительности : учебник для вузов / С. Н. Вергелес. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 190 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-03243-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=Urait:Urait-452861&theme=FEFU>
3. Медведев, Б. В. Начала теоретической физики. Механика, теория поля, элементы квантовой механики [Текст] : Учебное пособие / Б. В. Медведев. - 2. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2007. - 600 с.
<https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=Znanium:Znanium-544710&theme=FEFU>

Дополнительная литература

(печатные и электронные издания)

1. Джордж, Гамов Тяготение / Гамов Джордж ; перевод И. Е. Зино. — Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019. — 116 с. — ISBN 978-5-4344-0638-3. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-92071&theme=FEFU>
2. Павлов, С. В. Астрономия : учебное пособие / С.В. Павлов. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 359 с. : ил. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Среднее профессиональное образование). — DOI 10.12737/1148996. - ISBN 978-5-16-016443-4. - Текст : электронный. - URL: <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=Znanium:Znanium-1148996&theme=FEFU>
3. Логунов, Анатолий Алексеевич. Теория гравитационного поля / А. А. Логунов; Российская академия наук, Отделение ядерной физики. - Москва : Наука, 2001. - 238 с.
URL: <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=chamo:18081&theme=FEFU>

IX. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Успешное освоение дисциплины предполагает активную работу студентов на всех занятиях аудиторной формы: лекциях и практиках, выполнении аттестационных мероприятий. В процессе изучения дисциплины студенту необходимо ориентироваться на проработку лекционного материала, подготовку к практическим занятиям, выполнение контрольных и творческих работ.

Освоение дисциплины предусматривает со стороны преподавателя текущий контроль за посещением студентами лекций, подготовкой и выполнением всех практических заданий, выполнением всех видов самостоятельной работы.

Промежуточной аттестацией по дисциплине является *зачет*.

Студент считается аттестованным по дисциплине при условии выполнения всех видов текущего контроля и самостоятельной работы, предусмотренных учебной программой.

Шкала оценивания сформированности образовательных результатов по дисциплине представлена в фонде оценочных средств (ФОС).

X. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебные занятия по дисциплине могут проводиться в следующих помещениях, оснащенных соответствующим оборудованием и программным обеспечением, расположенных по адресу 690022, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10:

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
---	---

Учебные аудитории для проведения учебных занятий:	
690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, этаж 6, 94,34 кв.м., № помещения 2406	Лекционная аудитория оборудована маркерной доской, Мультимедийное оборудование: ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 CCBA - 1 шт. Парты и стулья (L608)
Помещения для самостоятельной работы:	
690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, этаж 10, 1016,2 кв.м., № помещения 477	Аудитории для самостоятельной работы студентов. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ДВФУ. Комплекты учебной мебели (столы и стулья). Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 115 шт. Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox. Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C). Полноцветный копир-принтер-сканер Xerox WorkCentre 7530 (WC7530CPS). Скорость доступа в Интернет 500 Мбит/сек. Рабочие места для людей с ограниченными возможностями здоровья оснащены дисплеями и принтерами Брайля (A1007 (A1042))

Для проведения учебных занятий по дисциплине, а также для организации самостоятельной работы студентам доступно следующее лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.