

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Е.А. Турилова

28 февраля 2025 г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Релятивистская астрофизика (нейтронные звезды, черные дыры)

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика

Профиль подготовки: Теоретическая физика и моделирование физических процессов

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
 - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
 - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): заведующий кафедрой, д.н. Сушков С.В. (Кафедра теории относительности и гравитации, Отделение физики), Sergey.Sushkov@kpfu.ru ; Червон Сергей Викторович ; Червон Сергей Викторович

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-3	Способен принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

принципы, лежащие в основе теории относительности; уравнения гравитационного поля; уравнения движения частиц и физических полей в гравитационном поле; основные эффекты, проявляющиеся в сильных гравитационных полях; способы модификации теории гравитации Эйнштейна

Должен уметь:

выполнять релятивистские преобразования физических величин при переходе из одной системы координат в другую; переходить от ковариантной формы записи уравнений движения к координатной; вычислять компоненты тензора Эйнштейна в заданной метрике

Должен владеть:

современными математическими и теоретическими методами исследования полей тяготения

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.06.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.04.02 "Физика (Теоретическая физика и моделирование физических процессов)" и относится к дисциплинам по выбору части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 2 курсе в 3 семестре.

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) на 144 часа(ов).

Контактная работа - 37 часа(ов), в том числе лекции - 18 часа(ов), практические занятия - 18 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 1 часа(ов).

Самостоятельная работа - 71 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 3 семестре.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Се-местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)							Само-стоя-тель-ная ра-бота
			Лекции-всего	Лекции-в эл. форме	Практи-ческие занятия, всего	Практи-ческие занятия, в эл. форме	Лабора-торные работы, всего	Лабора-торные работы, в эл. форме		
1.	Тема 1. Математическое описание черных дыр	3	8	0	8	0	0	0	32	

N	Разделы дисциплины / модуля	Се-мestr	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само-стое-тель-ная ра-бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практические занятия, всего	Практические в эл. форме	Лабора-торные работы, всего	Лабора-торные в эл. форме	
2.	Тема 2. Физика и астрофизика черных дыр	3	8	0	8	0	0	0	32
3.	Тема 3. Введение в физику кротовых нор	3	2	0	2	0	0	0	7
	Итого		18	0	18	0	0	0	71

4.2 Содержание дисциплины (модуля)

Тема 1. Математическое описание черных дыр

Темы лекционных занятий:

Введение. Гравитационное поле тяготеющих тел. Закон Ньютона. Статическое сферически симметричное гравитационное поле. Решение Шварцшильда. Геодезические в пространстве Шварцшильда. Глобальная структура пространства-времени Шварцшильда. Метрики Леметра и Крускала. Горизонт событий. Диаграммы Картера-Пенроуза. Вращающиеся черные дыры. Метрика Керра. Заряженные черные дыры. Метрика Райснера-Нордстрема. Теорема об отсутствии "волос".

Темы практических занятий:

Вывод метрики Шварцшильда как решения вакуумных уравнений Эйнштейна. Вычисление геометрических величин в пространствах Шварцшильда и Керра. Построение и решение геодезических уравнений в пространстве Шварцшильда.

Тема 2. Физика и астрофизика черных дыр

Темы лекционных занятий:

Гравитационный коллапс звезд. Формирование белых карликов, нейтронных звезд, черных дыр. Черные дыры звездных масс. Слияние черных дыр. Сверхмассивные черные дыры в галактиках. Активные ядра галактик. Аккреция вещества на черные дыры. Методы наблюдения черных дыр.

Темы практических занятий:

Вывод и решение уравнений Толмена-Оппенгеймера-Волкова. Построение тени черной дыры.

Тема 3. Введение в физику кротовых нор

Темы лекционных занятий:

Понятие о кротовых норах. Кротовая нора Эйнштейна-Розена. Гипотеза Уилера: масса без массы, заряд без заряда. Пространственно-временная пена.Проходимая кротовая нора Морриса-Торна. Условия горловины. Условие проходимости. Энергетические условия и экзотическая материя. Кротовая нора Эллиса-Бронникова. Фантомное скалярное поле. Кротовые норы в модифицированных теориях гравитации. Геодезические в пространстве-времени проходимой кротовой норы. Методы наблюдения кротовых нор. Гравитационное линзирование. "Тень" кротовой норы.

Темы практических занятий:

Вычисление геометрических величин в пространстве-времени кротовой норы Морриса-Торна и Эллиса-Бронникова. Построение и решение геодезических уравнений в этих пространствах.

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;
- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Архив электронных публикаций научных статей - <http://arxiv.org/>

Библиотека EqWorld МИР МАТЕМАТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ - <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm>

Образовательный проект А.Н. Варгина - ОТО, космология, астрономия - http://www.ph4s.ru/book_ph_oto.html

Электронная библиотека механико-математического факультета Московского государственного университета - <http://lib.mexmat.ru/allbooks.php>

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	<p>Назначение лекции в учебном процессе в том, чтобы помочь освоить фундаментальные проблемы курса, овладеть понятиями и методами изучаемой дисциплины.</p> <p>Разбор и усвоение лекционного материала.</p> <p>После каждой лекции студенту следует внимательно прочитать и разобрать конспект, при этом:</p> <ul style="list-style-type: none"> - понять и запомнить все новые определения, - понять все математические выкладки и лежащие в их основе физические положения и допущения, - воспроизвести все выкладки самостоятельно, не глядя в конспект, - выполнить или доделать выкладки, которые лектор предписал сделать самостоятельно (если таковые имеются), - самостоятельно разобрать материал, указанный лектором, используя доступные источники (бумажные или электронные), <p>При возникновении каких-либо трудностей с пониманием материала рекомендуется обратиться за помощью к лектору.</p>
практические занятия	<p>Практические занятия играют важную роль в выработке у студентов навыков применения полученных знаний для решения практических задач.</p> <p>Студент обязан перед каждым практическим занятием самостоятельно ознакомиться с теоретическим материалом и подготовить вопросы по материалу, который требует дополнительных разъяснений.</p> <p>Структура практического занятия:</p> <p>Вводная часть.</p> <p>Самостоятельная работа студентов.</p> <p>Заключительная часть.</p> <p>Во вводной части преподаватель формулирует тему занятия, и кратко обсуждает со студентами необходимый теоретический материал, излагает принципы и алгоритмы решения задач.</p> <p>Во время самостоятельной работы, студенты, используя полученные инструкции, определяют пути решения поставленных задач, вырабатывают последовательности выполнения необходимых действий, обобщают и систематизируют полученные результаты.</p> <p>В заключении проводится подведение итогов занятия: анализ хода выполнения и результатов работы обучающихся, выявление возможных ошибок и определение причин их возникновения, задается домашнее задание.</p>
самостоятельная работа	Если часть учебного материала отведена на самостоятельное изучение, то необходимо приступить к этому незамедлительно после указания преподавателя и освоить материал в отведенные им сроки. Материал следует изучить по доступным бумажным и электронным источникам, о которых сообщает преподаватель, и информация о которых содержится в учебном плане.
экзамен	Обучающийся по материалам лекций, основной и дополнительной литературы должен всесторонне и систематически изучить вопросы, выносимые на экзамен. Он также обязан изучить учебно-программный материал и уметь свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоить взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявить творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 03.04.02 "Физика" и магистерской программе "Теоретическая физика и моделирование физических процессов".

Приложение 2
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.06.01 Релятивистская астрофизика (нейтронные звезды, черные дыры)

Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика

Профиль подготовки: Теоретическая физика и моделирование физических процессов

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

Основная литература:

1. Алексеев, С. Введение в общую теорию относительности, ее современное развитие и приложения: учебное пособие / Алексеев С., Памятных Е.А., Урсулов А.В., - 2-е изд., стер. - Москва : Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 380 с. ISBN 978-5-9765-2612-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/945379> (дата обращения: 15.12.2024). - Режим доступа: по подписке.
2. Захаров, В. Д. Тяготение: от Аристотеля до Эйнштейна : учебное пособие / В. Д. Захаров. - 4-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2020. - 281 с. - ISBN 978-5-00101-816-2. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/151470> (дата обращения: 15.12.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Лукаш, В. Н. Физическая космология / В. Н. Лукаш, Е. В. Михеева. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 404 с. - ISBN 978-5-9221-1161-4. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/5279> (дата обращения: 15.12.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Бабурова, О. В. Математические основы современной теории гравитации: монография / О. В. Бабурова, Б. Н. Фролов. - Москва : МПГУ, 2012. - 128 с. - ISBN 978-5-7042-2362-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/435876> (дата обращения: 15.12.2024). - Режим доступа: по подписке.

Дополнительная литература:

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие : в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под редакцией Л. П. Питаевского. - 9-е изд., стереотип. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2020 - Том 2 : Теория поля - 2020. - 508 с. - ISBN 978-5-9221-1568-1. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/185651> (дата обращения: 15.12.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Бескин, В. С. Гравитация и астрофизика : учебное пособие / В. С. Бескин. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 158 с. - ISBN 978-5-9221-1054-9. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2114> (дата обращения: 15.12.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Фурсаев, Д. В. Введение в теорию гравитации и ее приложения : учебное пособие / Д. В. Фурсаев. - Дубна : Государственный университет 'Дубна', 2013. - 80 с. - ISBN 978-5-89847-396-9. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/154477> (дата обращения: 15.12.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

Приложение 3
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.06.01 Релятивистская астрофизика (нейтронные звезды, черные дыры)

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая
перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика

Профиль подготовки: Теоретическая физика и моделирование физических процессов

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.