

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: Физика перспективных материалов

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 ; Менжевицкий Владимир Сергеевич

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-2	Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач, и применять результаты научных исследований в проектной деятельности

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

- об основных положениях и понятиях специальной теории относительности, о математическом аппарате 4-векторов и 4-тензоров;
- об инвариантной формулировке релятивистских законов механики и электромагнетизма;
- об основных положениях и понятиях ОТО;
- о проявлениях эффектов ОТО в движениях небесных тел, электромагнитных сигналов и световых лучей;
- о способах описания гравитационного поля через характеристики кривизны пространства-времени, об уравнениях Эйнштейна и их решениях - метриках Шварцшильда и Керра и в виде гравитационных волн;
- о роли эффектов ОТО на финальных этапах жизни звезд, об основных физических свойствах черных дыр, нейтронных звезд и белых карликов;

Должен уметь:

- применять полученные знания при решении задач;
- использовать математический аппарат дифференциальной геометрии;
- аргументировано излагать основные аспекты современной картины мира;
- самостоятельно находить и анализировать сообщения о результатах астрономических наблюдений и экспериментов в области физики высоких энергий для повышения своей квалификации;
- вести междисциплинарные исследования на стыке астрономии, физики, математики и других естественных наук;
- применять полученные знания в своей профессиональной области.

Должен владеть:

- методами описания гравитационного поля;
- терминологическим аппаратом в области космологии и физики высоких энергий;
- методами астрономического и физического исследования при анализе теорий строения и эволюции Вселенной на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин;
- наблюдательными и экспериментальными методами исследований астрономических и физических объектов и явлений;
- методами критического анализа теорий.

Должен демонстрировать способность и готовность:

владеть основными компетенциями

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.03.04 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.04.02 "Физика (Физика перспективных материалов)" 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 2 зачетных(ые) единиц(ы) на 72 часа(ов).

Контактная работа - 24 часа(ов), в том числе лекции - 12 часа(ов), практические занятия - 12 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 48 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет 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-тельная ра-бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи-ческие занятия, всего	Практи-ческие в эл. форме	Лабора-торные работы, всего	Лабора-торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Основы СТО и ОТО. Риманова геометрия и тензорный анализ. Уравнения гравитационного поля	3	3	0	3	0	0	0	10
2.	Тема 2. Классические эффекты ОТО. Гравитационные волны	3	3	0	3	0	0	0	10
3.	Тема 3. Конечные стадии эволюции звезд. Нейтронные звезды и черные дыры. Гравитационный радиус и горизонт событий	3	2	0	2	0	0	0	10
4.	Тема 4. Аккреция на нейтронные звезды и черные дыры.	3	2	0	2	0	0	0	10
5.	Тема 5. Наблюдения релятивистских объектов. радио пульсары, рентгеновские пульсары, барстеры. Космические гамма-всплески и сверхновые.	3	2	0	2	0	0	0	8
	Итого		12	0	12	0	0	0	48

4.2 Содержание дисциплины (модуля)

Тема 1. Основы СТО и ОТО. Риманова геометрия и тензорный анализ. Уравнения гравитационного поля

Принцип относительности. Понятие

интервала. 4-векторы и 4-тензоры.

Преобразования Лоренца. Релятивистская формулировка уравнений механики.

Уравнения движения заряда в поле.

Тензор электромагнитного поля.

Релятивистская формулировка уравнений электродинамики. .

Тема 2. Классические эффекты ОТО. Гравитационные волны

Эффекты общей теории относительности. Проблема скрытой массы. Гравитационные линзы. .

Тема 3. Конечные стадии эволюции звезд. Нейтронные звезды и черные дыры. Гравитационный радиус и горизонт событий

Конечные стадии эволюции звезд. Нейтронные звезды и черные дыры. .

Тема 4. Аккреция на нейтронные звезды и черные дыры.

Аккреция на нейтронные звезды и черные дыры. . .

Тема 5. Наблюдения релятивистских объектов. радио пульсары, рентгеновские пульсары, барстеры. Космические гамма-всплески и сверхновые.

Наблюдения релятивистских объектов. радио пульсары, рентгеновские пульсары, барстеры. . .

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 №14-55-99бин/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)

ModCos - сайт научно-популярных статей по космологии - <http://www.modcos.com/>

Астрокосмический портал (на англ. языке) - <http://space.about.com/>

Астрокосмический центр АКЦ ФИАН - <http://asc-lebedev.ru/>

Виртуальная обсерватория ГАИШ МГУ - <http://vo.astronet.ru/>

Сайт российской Астрономической сети - <http://www.astronet.ru>

Сайт электронной библиотеки по физике и астрономии - <http://adsabs.harvard.edu>

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

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Лекция это устное изложение информации, выстроенное по строго определенной логической структуре. Основной задачей лекций является глубокое изучение рассматриваемой темы. Основное назначение лекции - это освоение фундаментальных научных аспектов и распространение сведений о новых достижениях современной науки. Студентам во время лекционных занятий рекомендуется вести конспекты для лучшего запоминания информации и, при необходимости, ее последующего воспроизведения.
практические занятия	запоминания информации и, при необходимости, ее последующего воспроизведения. Проверка практических навыков позволяет проверить готовность студентов проводить и обрабатывать полученные измерения. Для обработки данных студентам необходим компьютер или ноутбук и соответствующее программное обеспечение. При выполнении данного вида задания можно пользоваться конспектами, а также любой дополнительной литературой, связанной с темой задания.
самостоятельная работа	Самостоятельная работа - индивидуальная работа студента, выполняемая без непосредственного контакта с преподавателем. Во время самостоятельной работы студентам рекомендуется изучать дополнительные материалы по изучаемому курсу, что позволит повысить уровень теоретического освоения материала и подготовиться к сдаче практических работ, зачету или экзамену.
зачет	Зачет - метод контроля, который проходит в виде устного опроса студентов по пройденному лекционному материалу и выполненным практическим работам. Для подготовки к зачету рекомендуется повторно изучить конспекты и рекомендованную литературу. Также рекомендуется составить список непонятных вопросов и задать их преподавателю для подробного разъяснения.

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.

Компьютерный класс.

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 "Физика перспективных материалов".

Приложение 2
к рабочей программе дисциплины (модуля)
*Б1.В.ДВ.03.04 Релятивистская астрофизика (нейтронные звезды,
черные дыры)*

Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика

Профиль подготовки: Физика перспективных материалов

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.03.04 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: Физика перспективных материалов

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