

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



*подписано электронно-цифровой подписью*

## Программа дисциплины

Экспериментальные тесты в теории гравитации

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: 2021

## 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): профессор, д.н. (профессор) Балакин А.Б. (Кафедра теории относительности и гравитации, Отделение физики), Alexander.Balakin@kpfu.ru

### 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-1	Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью методов теоретической физики, современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта
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:

основные определения и постулаты, лежащие в основе теории эволюции физических систем в гравитационном поле.

Должен уметь:

выводить ключевые уравнения динамики пробных частиц в статических и динамических гравитационных полях различной структуры .

Должен владеть:

информацией о современных методах экспериментального исследования космических гравитационных полей.

Должен демонстрировать способность и готовность:

применить теорию движения пробных частиц к экспериментальным проблемам космической физики.

### 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.07.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.04.02 "Физика (Теоретическая физика и моделирование физических процессов)" и относится к дисциплинам по выбору.

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 3 зачетных(ые) единиц(ы) на 108 часа(ов).

Контактная работа - 36 часа(ов), в том числе лекции - 18 часа(ов), практические занятия - 18 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 72 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- тель- ная 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. Классические тесты в релятивистской теории тяготения	3	6	0	6	0	0	0	24
2.	Тема 2. Гравитационное линзирование квази-звездных источников и проблема поиска темной материи.	3	4	0	4	0	0	0	16
3.	Тема 3. Детектирование гравитационных волн..	3	8	0	8	0	0	0	32
	Итого		18	0	18	0	0	0	72

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

##### Тема 1. Классические тесты в релятивистской теории тяготения

1.1. Отклонение света в гравитационном поле Солнца; эксперимент Эддингтона.

1.2. Смещение перигелия Меркурия.

1.3. Запаздывание радарного эха.

1.4. Гравитационное красное смещение; эксперимент Паунда-Ревки-Снайдера.

1.5. Прецессия гироскопа в гравитационном поле вращающихся объектов; гравито-магнетизм .

##### Тема 2. Гравитационное линзирование квази-звездных источников и проблема поиска темной материи.

2.1. Двойникование оптических источников; кольца Эйнштейна и гигантские арки.

2.2. Теория гравитационных линз; сильное и слабое линзирование.

2.3. Темная материя; аксионная фракция темной материи; оптические эффекты, возникающие в световом потоке от квазизвездных объектов при прохождении через слой темной материи.

##### Тема 3. Детектирование гравитационных волн..

3.1. Длинно-базовые лазерно-интерферометрические детекторы гравитационного излучения: принципы устройства, техника детектирования и первые результаты.

3.2. Кристаллические детекторы гравитационного излучения; криогенная техника подавления тепловых шумов; сферические омни-детекторы.

3.3. Компактные лазерно-интерферометрические детекторы.

### 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

Балакин А.Б. Классические тесты теории гравитации. Учебно-методическое пособие к курсу "Экспериментальные обоснования общей теории относительности" (Конспект лекций). Казань, 2010, 35 с. (электронная версия) - [http://window.edu.ru/window/catalog?p\\_rid=69708](http://window.edu.ru/window/catalog?p_rid=69708)

## **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>

Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Балакин, А.Б. Классические тесты теории гравитации. Учебно-методическое пособие к курсу 'Экспериментальные обоснования общей теории относительности' (Конспект лекций) / А.Б. Балакин. - Казань. КФУ, 2010. - 20 с. - [http://window.edu.ru/window/catalog?p\\_rid=69708](http://window.edu.ru/window/catalog?p_rid=69708)

Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Балакин А.Б. Релятивистская теория многочастичных систем. Часть II. Релятивистская гидродинамика: Конспект лекций. - Казань: Казанский государственный университет, 2003. - 67 с. - [http://window.edu.ru/window/catalog?p\\_rid=69706](http://window.edu.ru/window/catalog?p_rid=69706)

Сайт кафедры теории относительности и гравитации КФУ - <http://kpfu.ru/physics/struktura/kafedry/kafedra-teorii-otnositelnosti-i-gravitacii/uchebnaya-rabota/uchebnye-posobiya>  
 Электронно-библиотечная система - <http://www.knigafund.ru/>

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

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Основу курса лекций составляет материал, подготовленный сотрудниками кафедры теории относительности и гравитации Казанского университета. В материале лекций использованы результаты, опубликованные в серии научных и научно-методических работ членов кафедры теории относительности и гравитации КФУ.
практические занятия	Детали расчетов, которые необходимо провести обучающимися под руководством преподавателя на практических занятиях, содержат многочисленные математические нюансы и требуют от обучающегося серьезной работы в непосредственном контакте с лектором. На практических занятиях преподаватель укажет дополнительные источники математической информации по теме занятия.
самостоятельная работа	Самостоятельная работа обучающегося сопряжена с поиском новых научных публикаций, в которых применены методы, изложенные в лекциях, использованы результаты задач, решенных на практике, а также с поиском новых приложений с учетом развития сюжетов, рассмотренных космической физикой в последнее десятилетие.
зачет	Зачет включает не только опрос по пройденному материалу, но и творческие элементы дискуссии. В теории и практике преподавания курса творческий аспект проведения зачета связан, в частности, с успехами работ по детектированию гравитационного излучения, испущенного при столкновении черных дыр и нейтронных звезд.

### 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.07.01 Экспериментальные тесты в теории  
гравитации*

**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: 2021

**Основная литература:**

1. Рубаков, В. А. Актуальные вопросы космологии : курс лекций / Рубаков В. А. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2017. (Серия 'Высшая школа физики') - ISBN 978-5-383-01148-5. - Текст : электронный // ЭБС 'Консультант студента' : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011485.html> (дата обращения: 12.05.2021). - Режим доступа : по подписке.
2. 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: 12.05.2021). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Балакин, А.Б. Классические тесты теории гравитации. Учебно-методическое пособие к курсу 'Экспериментальные обоснования общей теории относительности' (Конспект лекций) / А.Б. Балакин. - Казань. КФУ, 2010. - 20 с. Единое окно доступа к образовательным ресурсам, URL: [http://window.edu.ru/window/catalog?p\\_rid=69708](http://window.edu.ru/window/catalog?p_rid=69708) (дата обращения: 12.05.2021). - Режим доступа : по подписке.

**Дополнительная литература:**

1. Бескин, В. С. Гравитация и астрофизика / Бескин В. С. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 160 с. - ISBN 978-5-9221-1054-9. - Текст : электронный // ЭБС 'Консультант студента' : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922110549.html> (дата обращения: 12.05.2021). - 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: 12.05.2021). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
- 3.. Балакин А.Б. Релятивистская теория многочастичных систем. Часть II. Релятивистская гидродинамика: Конспект лекций. - Казань: Казанский государственный университет, 2003. - 67 с. Единое окно доступа к образовательным ресурсам, URL: [http://window.edu.ru/window/catalog?p\\_rid=69706](http://window.edu.ru/window/catalog?p_rid=69706) (дата обращения: 12.05.2021). - Режим доступа : по подписке.



Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.07.01 Экспериментальные тесты в теории  
гравитации

**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: 2021

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.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "Консультант студента", доступ к которой предоставлен обучающимся. Многопрофильный образовательный ресурс "Консультант студента" является электронной библиотечной системой (ЭБС), предоставляющей доступ через сеть Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретенным на основании прямых договоров с правообладателями. Полностью соответствует требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования к комплектованию библиотек, в том числе электронных, в части формирования фондов основной и дополнительной литературы.