

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 теория плазмы

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): профессор, д.н. 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-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 релятивистской теории плазмы, схемы получения ключевых уравнений теории, классификацию основных моделей..

Должен уметь:

Выводить кинетические уравнения и уравнения для моментов функции распределения, а также уметь пользоваться модельными приближениями в теории плазмы.

Должен владеть:

информацией о приложениях релятивистской теории плазмы к астрофизике, космологии, теории ускорителей и коллайдеров.

Должен демонстрировать способность и готовность:

применить релятивистскую версию теории плазмы к проблемам космической физики.

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

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.08.01 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 - 49 часа(ов), в том числе лекции - 24 часа(ов), практические занятия - 24 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 1 часа(ов).

Самостоятельная работа - 95 часа(ов).

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

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет с оценкой 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-<br>местр | Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах) |                          |  |                                     |                                       |                                     |    | Само-<br>сто-<br>тель-<br>ная<br>ра-<br>бота |
|----|--|--------------|--|--------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|----|--|
|    |  |              | Лекции<br>всего  | Лекции<br>в эл.<br>форме | Практи-<br>ческие<br>занятия,<br>всего | Практи-<br>ческие<br>в эл.<br>форме | Лабора-<br>торные<br>работы,<br>всего | Лабора-<br>торные<br>в эл.<br>форме |    |  |
| 1. | Тема 1. .Кинетическая теория релятивистской плазмы | 3            | 8  | 0                        | 8                                      | 0                                   | 0                                     | 0                                   | 32 |  |

| N  | Разделы дисциплины / модуля                            | Се-мestr | Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах) |                    |                             |                          |                             |                           |    | Само-стоя-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. Колебания и волны в релятивистской плазме      | 3        | 8  | 0                  | 8                           | 0                        | 0                           | 0                         | 32 |                            |
| 3. | Тема 3. Гидродинамическая теория релятивистской плазмы | 3        | 4  | 0                  | 4                           | 0                        | 0                           | 0                         | 16 |                            |
| 4. | Тема 4. Теория аксионно-активной плазмы                | 3        | 4  | 0                  | 4                           | 0                        | 0                           | 0                         | 15 |                            |
|    | Итого  |          | 24   | 0                  | 24                          | 0                        | 0                           | 0                         | 95 |                            |

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

##### Тема 1. Кинетическая теория релятивистской плазмы

1.1.Ковариантное кинетическое уравнение, оператор Картана, интеграл столкновений Больмана и Ландау; сила Лоренца и её обобщения; законы сохранения.

1.2.Равновесные конфигурации релятивистской плазмы, астрофизические приложения.

1.3.Коллективные взаимодействия в бесстолкновительной плазме, модель Власова.

##### Тема 2. Колебания и волны в релятивистской плазме

2.1.Дисперсионные соотношения в релятивистской изотропной плазме, распространение продольных и поперечных плазменных волн.

2.2.Затухание Ландау и резонансное взаимодействие волн и частиц, плазменное эхо; волны Ван-Кампена.

2.3. Волны в магнито-активной плазме; дисперсионные соотношения и особенности поляризации волн .

##### Тема 3. Гидродинамическая теория релятивистской плазмы

3.1. Квази-равновесная плазма как многокомпонентная заряженная жидкость; гидродинамическое приближение, пяти и четырнадцати-моментные модели.

3.2.Релятивистская магнитогидродинамика и её приложения.

3.3.Проблема неустойчивостей в однородной и неоднородной плазме.

3.4. Полностью вырожденная электронная плазма.

##### Тема 4. Теория аксионно-активной плазмы

4.1. Аксационная электродинамика как расширение теории Фарадея-Максвелла.

4.2.Волны в аксионно-активной плазме; дисперсионные соотношения, оптическая активность, двулучепреломление, киральные системы.

4.3.Аксационно-активные стационарные астрофизические системы и проблема идентификации частиц темной материи.

#### 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. Введение в релятивистскую электродинамику сплошных сред. Учебно-методическое пособие к курсу "Специальная теория относительности" (Конспект лекций). Казань, Изд. КГУ, 2010, 70 с. - [http://window.edu.ru/window/catalog?p\\_rid=69709](http://window.edu.ru/window/catalog?p_rid=69709)

Балакин А.Б. Релятивистская теория многочастичных систем. Часть II. Релятивистская гидродинамика.

Учебно-методическое пособие к курсу "Специальная теория относительности" (Конспект лекций). Казань, Изд. КГУ, 2003, 67 с. - [http://window.edu.ru/window/catalog?p\\_rid=69706](http://window.edu.ru/window/catalog?p_rid=69706)

## **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>

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 за последние 50 лет сотрудниками кафедры теории относительности и гравитации Казанского университета. В материале лекций использованы результаты, опубликованные в серии научных и научно-методических работ проф. Ю.Г. Игнатьева, проф. А.Б. Балакина и их учеников.   |
| 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 с оценкой        | Зачет включает не только опрос по пройденному материалу, но и творческие элементы дискуссии. В теории и практике преподавания релятивистской теории плазмы творческий аспект проведения зачета связан, в частности с успехами работы Большого Адронного Коллайдера, а также проблемами аномального ускорения частиц в нем.  |

## **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.08.01 Релятивистская теория плазмы

**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. Рожанский, В. А. Теория плазмы : учебное пособие / В. А. Рожанский. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 320 с. - ISBN 978-5-8114-1233-4. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/210770> (дата обращения: 15.12.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Голант, В. Е. Основы физики плазмы : учебное пособие / В. Е. Голант, А. П. Жилинский, И. Е. Сахаров. - 2-е изд., испр. и доп. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 448 с. - ISBN 978-5-8114-1198-6. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/210629> (дата обращения: 15.12.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Тимофеев, А. В. Резонансные явления в колебаниях плазмы : монография / А. В. Тимофеев. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 296 с. - ISBN 978-5-9221-1043-3. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2338> (дата обращения: 15.12.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

**Дополнительная литература:**

1. Старостин, А. Н. Кинетика и термодинамика неидеальной плазмы : курс лекций / А. Н. Старостин. - Москва : МЭИ, 2020. (Высшая школа физики) - ISBN 978-5-383-01411-0. - Текст : электронный // ЭБС 'Консультант студента' : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014110.html> (дата обращения: 15.12.2024). - Режим доступа : по подписке.
2. Ильгисонис, В. И. Классические задачи физики горячей плазмы. вып. 8 : учебное пособие / Ильгисонис В. И. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2017. (Серия 'Высшая школа физики') - ISBN 978-5-383-01150-8. - Текст : электронный // ЭБС 'Консультант студента' : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011508.html> (дата обращения: 15.12.2024). - Режим доступа : по подписке.
3. Фортов, В. Е. Уравнения состояния вещества : от идеального газа до кварк-глюонной плазмы: монография/ Фортов В. Е. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 492 с. - ISBN 978-5-9221-1415-8. - Текст : электронный // ЭБС 'Консультант студента' : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922114158.html> (дата обращения: 15.12.2024). - Режим доступа : по подписке.

*Приложение 3*  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.08.01 Релятивистская теория плазмы

**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.

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. Полнотью соответствует требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования к комплектованию библиотек, в том числе электронных, в части формирования фондов основной и дополнительной литературы.