

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Высшая школа общей и прикладной физики

---

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 10 от 02.12.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Астрофизика

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

03.04.02 - Физика

---

Направленность образовательной программы

Общая и прикладная физика

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.04 Астрофизика относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-8: Способен использовать навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей	ПК-8.1: Демонстрация способности использовать навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей	ПК-8.1: Знать общие характеристики космической плазмы и внеземного электромагнитного излучения, основные механизмы генерации излучения, основы теории переноса и рассеяния излучения в астрофизической плазме. Иметь представление о состоянии современной наблюдательной (в том числе, внеатмосферной) и теоретической астрономии. Уметь применять освоенные методы теоретической астрофизики для интерпретации наблюдаемых свойств электромагнитного излучения космических объектов. Владеть навыками решения задач, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях	Задачи Индивидуальное устное собеседование Собеседование	Экзамен: Задачи Контрольные вопросы

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
в том числе	

<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>16</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>16</b>
- КСР	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>38</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b> <b>Экзамен</b>

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Введение в теоретическую астрофизику	8	2	2	4	4
Электромагнитные волны в однородной астрофизической плазме	8	2	2	4	4
Электромагнитные волны в регулярно неоднородной астрофизической плазме	9	2	2	4	5
Перенос излучения в астрофизической плазме	9	2	2	4	5
Собственное излучение астрофизической плазмы	9	2	2	4	5
Поглощение излучения в равновесной астрофизической плазме	9	2	2	4	5
Реабсорбция и усиление излучения в неравновесной плазме	9	2	2	4	5
Рассеяние излучения в астрофизической плазме	9	2	2	4	5
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	108	16	16	34	38

#### Содержание разделов и тем дисциплины

Введение в теоретическую астрофизику  
 Электромагнитные волны в однородной астрофизической плазме  
 Электромагнитные волны в регулярно неоднородной астрофизической плазме  
 Перенос излучения в астрофизической плазме  
 Собственное излучение астрофизической плазмы  
 Поглощение излучения в равновесной астрофизической плазме  
 Реабсорбция и усиление излучения в неравновесной плазме  
 Рассеяние излучения в астрофизической плазме

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

а) основная литература:

- 1) Фундаментальные космические исследования. Астрофизика [Электронный ресурс] / Алифанов О.М., Анфимов Н.А., Беляев В.С. и др. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2014. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922115490.html>
- 2) Астрофизика космических лучей [Электронный ресурс]: Учебное пособие для вузов. / Мурзин В.С. - М. : Логос, 2007. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987041716.html>
- 3) Гинзбург В.Л. Теоретическая физика и астрофизика, М., Наука, 1987. – 11 экз.

б) дополнительная литература:

- 1) Бекефи Дж. Радиационные процессы в плазме, М., Мир, 1971. – 5 экз.
- 2) Теоретическая физика. Т. II. Теория поля [Электронный ресурс]: Учеб. пособ.: Для вузов. / Ландау Л.Д., Лифшиц ?М. - 8-е изд., стереот. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922100564.html>
- 3) Теоретическая физика. Том 9. Статистическая физика. Ч.2. Теория конденсированного состояния. [Электронный ресурс]: Учеб. пособ.: Для вузов. / Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. - 4-е изд., исправл. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922102966.html>
- 4) Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика, М., Век 2, 2014. – 2 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

- 1) Научно-популярный и учебный сайт: [www.astronet.ru](http://www.astronet.ru) ;
- 2) Сайт Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov) ;
- 3) Некоммерческий сайт "Вселенная Сегодня" [www.universetoday-rus.com](http://www.universetoday-rus.com) ;

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

##### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

###### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-8:**

Вопросы для собеседования:

1. Расстояние до звёзд; их относительная и абсолютная звёздная величина.

2. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела. Температура, цвет и спектр звёзд.
3. Звёзды поздних спектральных классов: красные гиганты и переменные (цефеиды).
4. Шаровые скопления старых звёзд.
5. Маломассивные звезды и планетарные туманности.
6. Белые карлики и связанные с ними взрывные процессы.
7. Судьба Солнца: медленная эволюция, планетарная туманность, белый карлик.
8. Массивные звёзды и сверхновые II типа.
9. Структура Галактики.
10. Спиральные рукава и звёзды в них.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Справедливо одно из следующих утверждений: (1). Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач. (2). Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов. (3). Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. (4). Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами. (5). Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
не зачтено	Справедливо одно из следующих утверждений: (1). Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки. (2). Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа.

Оценка	Критерии оценивания
	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

			недочетами				
--	--	--	------------	--	--	--	--

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-8

1. Механизмы излучения: когерентный и некогерентный, мазерный и антенный.
2. Волны в магнитоактивной плазме. Графики и поляризация мод.
3. Квазипоперечное и квазипродольное распространение.
4. Вистлеры.
5. Затухание Ландау – интерпретация с учетом теплового движения электронов в поле волны.
6. Групповое запаздывание импульсов. Его применение к пульсарам.
7. Эффект Фарадея в плазме. Причины деполяризации излучения.
8. Уравнение переноса излучения в излучающей и поглощающей среде. Его решения.
9. Формирование Фраунгоферова спектра за счет эффектов поглощения.
10. Тормозное излучение.
11. Излучение Вавилова-Черенкова.

12. Магнитотормозное излучение. Спектр частот. Аномальный и нормальный эффект Доплера.
13. Циклотронное излучение. Депрессия на первой гармонике гирочастоты.
14. Синхротронное излучение. Угловой и частотный спектры.
15. Синхротронный механизм космического радиоизлучения.
16. Изгибное излучение.
17. Тормозное поглощение и эффективная частота столкновений.
18. Тормозной механизм излучения областей НII.
19. Черенковское поглощение и затухание Ландау.
20. Циклотронное поглощение в неоднородном магнитном поле. Объяснение медленно меняющейся компоненты солнечного радиоизлучения.
21. Поглощение излучения в неравновесной плазме.
22. Черенковская неустойчивость (усиление) в системе «поток-плазма». Образование «плато».
23. Теория быстродрейфующих всплесков солнечного радиоизлучения. Динамический спектр, частотный дрейф гармоник. Конверсия плазменных волн в электромагнитные.
24. Перенос излучения с учетом эффектов рассеяния (приближение столкновительной и бесстолкновительной плазмы).
25. Уравнение переноса излучения с учетом рассеяния.
26. Метод Шварцшильда-Шустера. Решение уравнения переноса в однородном слое.
27. Интерпретация фраунгоферова спектра солнечного излучения и спектра излучения рентгеновских пульсаров.
28. Движущиеся источники излучения. Сверхсветовой разлет джетов.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые



Оценка	Критерии оценивания
	навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Удовлетворительно Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Гинзбург Виталий Лазаревич. Теоретическая физика и астрофизика : доп. гл. - М. : Наука, 1975. - 415 с. : граф. - 1.79., 5 экз.
2. Фундаментальные космические исследования. Астрофизика / Алифанов О.М., Анфимов Н.А., Беляев В.С., Бодин Б.В. , Боярчук А.А., Галимов Э.М., Гальпер А.М., Головкин А.В., Григорьев А.И., Губайдуллин В.Ш., Губертов А.М., Елкин К.С., Захаров А.И., Зацепин В.И., Ильин В.К., Карабаджак Г.Ф., Кардашев Н.С., Ковков Д.В., Ковалев Ю.Ю., Кузнецов В.Д., Курт В.Г., Лукаш В.Н., Лутовинов А.А., Макаров Ю.Н., Мальченко А.Н., Манько А.С., Маров М.Я., Матафонов А.П., Милуков В.К., Михеева Е.В., Моруков Б.В., Павлинский М.Н., Панасюк М.И., Паничкин Н.Г., Пикуз С.А., Пичхадзе К.М., Попов Г.А., Поповкин В.А., Прохоров М.Е., Райкунов Г.Г., Ревнивцев М.Г., Слюта Е.Н., Смирнов А.В., Успенский Г.Р., Ушаков И.Б., Фортон В.Е., Хартов В.В., Черепашук А.М., Шевченко В.В., Шустов Б.М. - Москва : Физматлит, 2014., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=647123&idb=0>.
3. Мурзин Владимир Сергеевич. Астрофизика космических лучей : Учебное пособие / Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. - Москва : Университетская книга, 2007. - 488

с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-98704-171-6., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=740472&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Бекефи Дж. Радиационные процессы в плазме / пер. с англ. М. Д. Райзера ; под ред. А. А. Веденова. - М. : Мир, 1971. - 437 с. : ил. - 2.81., 6 экз.
2. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика. Том 2. Теория поля : Учебное пособие. - 9-е изд. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2018. - 508 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-1568-1., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=741028&idb=0>.
3. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика. Том 9. Статистическая физика. Теория конденсированного состояния. Часть 2 : Учебное пособие. - 5-е изд. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2018. - 440 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-1580-3., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=741029&idb=0>.
4. Засов Анатолий Владимирович. Общая астрофизика : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям 010701 - Физика и 010702 - Астрономия / МГУ, Физ. фак., Гос. астрон. ин-т им. П. К. Штернберга. - Фрязино : Век-2, 2006. - 496 с. - ISBN 5-85099-169-7 : 50.00., 2 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

- 1) Научно-популярный и учебный сайт: [www.astronet.ru](http://www.astronet.ru) ;
- 2) Сайт Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov) ;
- 3) Некоммерческий сайт "Вселенная Сегодня" [www.universetoday-rus.com](http://www.universetoday-rus.com) ;

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории. Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.02 - Физика.

Автор(ы): Кочаровский Владимир Владиленович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник.

Заведующий кафедрой: Викторов Михаил Евгеньевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 31.01.2025, протокол № 2.