

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

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

УТВЕРЖДЕНО  
решением  
Ученого совета ННГУ  
протокол от  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ г. № \_\_\_\_

**Рабочая программа дисциплины**

**Астрофизика**

(наименование дисциплины (модуля))

**Уровень высшего образования**

**магистратура**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

**Направление подготовки / специальность**

**03.04.02 Физика**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

**Направленность образовательной программы**

**магистерская программа "Квантовые и нейроморфные технологии"**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

**Квалификация (степень)**

**магистр**

(бакалавр / магистр / специалист)

**Форма обучения**

**очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

**Год набора**

**2023**

(для обучающихся какого года набора разработана Рабочая программа)

Нижегород

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Астрофизика» относится к вариативной части блока ФТД «Факультативы», является факультативной дисциплиной, преподается во втором семестре первого года обучения в магистратуре.

**Целями освоения дисциплины являются:**

- формирование у студентов современных представлений об основных достижениях современной астрофизики, прежде всего плазменной,
- изучение основ теории генерации и распространения электромагнитных волн в астрофизической плазме,
- формирование у студентов профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 «Физика».

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<b>ПК-3</b> Способен свободно владеть разделами физики и применять результаты научных исследований в профильных областях для решения научно-практических и научно-технологических задач	<i>З1 (ПК-3) Знать</i> 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. <i>У1 (ПК-3) Уметь</i> применять освоенные методы теоретической астрофизики для интерпретации наблюдаемых свойств электромагнитного излучения космических объектов. <i>В1 (ПК-3) Владеть</i> навыками решения задач, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.

## 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа, из которых 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часа занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия), 1 час мероприятия промежуточной аттестации), 39 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

## Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. Введение в теоретическую астрофизику	8	2	2		4	4
2. Электромагнитные волны в однородной астрофизической плазме	8	2	2		4	4
3. Электромагнитные волны в регулярно неоднородной астрофизической плазме	8	2	2		4	4
4. Перенос излучения в астрофизической плазме	8	2	2		4	4
5. Собственное излучение астрофизической плазмы	9	2	2		4	5
6. Поглощение излучения в равновесной астрофизической плазме	10	2	2		4	6
7. Реабсорбция и усиление излучения в неравновесной плазме	10	2	2		4	6
8. Рассеяние излучения в астрофизической плазме	10	2	2		4	6
в т.ч.текущий контроль			2			
<b>Промежуточная аттестация – зачет</b>						<b>54</b>

Текущий контроль успеваемости осуществляется в виде решений и последующей проверки домашних контрольных работ, а также в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на экзамене.

### 4. Образовательные технологии

При изучении дисциплины используются современные образовательные технологии. Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических занятий, а также в виде коллективных и индивидуальных консультаций. На занятиях лекционного типа используются

мультимедийные средства поддержки образовательного процесса, часть занятий проводятся в виде лекций с проблемным изложением материала. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних контрольных работ и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, студенты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, проводимых в Федеральном исследовательском центре Институт прикладной физики Российской академии наук.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является экзамен, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

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

Самостоятельная работа студента – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – формирование у студентов способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних контрольных работ с последующей проверкой навыков решения задач.

Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных студентам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится в период сессии при подготовке к экзамену по дисциплине.

Выполнение домашних контрольных работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

Задачи для выполнения самостоятельных контрольных работ по каждому разделу дисциплины составляются преподавателем самостоятельно при ежегодном обновлении банка тестовых заданий. Количество вариантов зависит от числа обучающихся.

**Вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:**

1. Механизмы излучения: когерентный и некогерентный, мазерный и антенный.
2. Волны в магнитоактивной плазме. Графики  $n_j^2(\nu)$  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 НП.
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.

## **6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине,**

**включающий:**

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ПК-3: Способен свободно владеть разделами физики и применять результаты научных исследований в профильных областях для решения научно-практических и научно-технологических задач.

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»

<u>Знания</u> 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	отсутствие каких-либо знаний в рамках данного материала	наличие грубых ошибок при изложении основного материала	знание основного материала с рядом негрубых ошибок	знание основного материала, однако с рядом заметных погрешностей	знание основного материала с незначительными погрешностями	знание основного материала без ошибок и погрешностей	знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> Уметь применять освоенные методы теоретической астрофизики для интерпретации наблюдаемых свойств электромагнитного излучения космических объектов	Полная неспособность приступить к решению какой бы то ни было задачи в рамках указанного материала	Решение стандартных задач с грубыми ошибками	Умение решать стандартные задачи с негрубыми ошибками	Умение решать стандартные задачи с неточностями, не имеющими принципиального характера.	Умение решать стандартные задачи с незначительными погрешностями	Умение решать задачи повышенной сложности и с незначительными погрешностями	Умение решать задачи повышенной сложности
<u>Навыки</u> Владеть навыками решения задач, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях	Полное отсутствие соответствующих навыков	Владение навыками решения стандартных задач с грубыми ошибками	Владение навыками решения стандартных задач с негрубыми ошибками	Владение навыками решения стандартных задач с неточностями, не имеющими принципиального характера	Владение навыками решения стандартных задач с незначительными погрешностями	Владение навыками решения стандартных задач без погрешностей	Владение навыками решения стандартных задач, а также задач повышенной сложности и без погрешностей
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

## 6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде экзамена, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен проводится в устной форме. Устная часть экзамена заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть экзамена предусматривает решение двух задач по различным разделам курса.

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	<p>Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит исчерпывающие, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение уверенно применять на практике приобретенные навыки, владение в полной мере методиками решения задач.</p> <p>100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий</p>
Отлично	<p>Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит почти полные, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше</p>
Очень хорошо	<p>Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями; неполно отвечает на дополнительные вопросы; приводит достаточно аргументированные и почти полные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами; или исчерпывающее решение приводится только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена с заметными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.</p>
Хорошо	<p>В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит почти полные решения всех сформулированных в билете задач с некоторыми недочетами; или исчерпы-</p>

	<p>вающее решение приведено только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена со значительными погрешностями. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей и не всегда полной обоснованностью выводов, демонстрирующих, в целом, знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит неполные, слабо аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы не отличаются стройной логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, что говорит о не достаточно полном понимании общефизических и профессиональных дисциплин, умении применять на практике лишь некоторые приобретенные навыки, владении не всеми изученными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.</p>
Неудовлетворительно	<p>Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора; приводит решения сформулированных в билете задач с грубыми недочетами, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки, не владение методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.</p>
Плохо	<p>Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы, демонстрирует полное непонимание сформулированных в билете задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.</p>

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

**Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:**

- индивидуальное собеседование,
- устные и/или письменные ответы на вопросы.

**Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:**

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающие одну или несколько задач.

По сложности ПКЗ разделяются на простые (стандартные) и комплексные задания. Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия, применяются для оценки умений. Комплексные задания (задания повышенной сложности) требуют поэтапного решения и развернутого ответа с применением нестандартных подходов к решению. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

**Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:**

1. Механизмы излучения: когерентный и некогерентный, мазерный и антенный.
2. Волны в магнитоактивной плазме. Графики  $n_j^2(\nu)$  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 НП.
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 гармоники. 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.

**Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:**

Для оценки сформированности компетенции ПК-3 – способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта

Задача 1. Расчёт деформации спектра реликтового излучения при рассеянии на горячем газе в скоплении галактик.

Задача 2. Расчёт уширения циклотронной линии в излучении и её смещения за счёт эффекта отдачи и гравитационного красного смещения для пульсара Her X-1.

Задача 3. Расчёт группового запаздывания импульсов радиоизлучения ближайших к Солнцу пульсаров и оценка меры дисперсии для них.

Задача 4. Расчёт количества полных оборотов плоскости поляризации радиоизлучения ближайших к нам пульсаров и меры вращения для них.

Задача 5. Расчёт яркостной температуры по наблюдаемому спектру радиоизлучения туманности Ориона и оценка меры эмиссии плазмы в этой туманности.

#### 6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

### 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Астрофизика»

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

- 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) ;

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

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.

Программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Автор(ы) \_\_\_\_\_ В.В. Кочаровский

Рецензент(ы) \_\_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ от «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_ года, протокол № б/н.

Председатель  
Учебно-методической комиссии  
физического факультета ННГУ \_\_\_\_\_ / А.А. Перов /