

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

Теория колебаний

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.03.03 Радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Фундаментальная радиофизика

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть	Дисциплина <i>Б1.О.24, теория колебаний</i> относится к обязательной части ООП направления подготовки <i>03.03.03 Радиофизика</i> .

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**	
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;	ОПК-1.1. Обладает фундаментальными знаниями в области физики и радиофизики.	Знать основные составляющие аппарата теории колебаний (определения, математические методы, теоремы).	<i>Собеседование, задача</i>
	ОПК-1.2. Анализирует физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач.	Уметь применять формульный аппарат теории колебаний для решения физических задач.	
	ОПК-1.3. Решает научно-исследовательские задачи, в том числе в сфере педагогической деятельности.	Владеть аппаратом теории колебаний.	
ОПК-2. Способен проводить экспериментальные и теоретические	ОПК-2.1 Использует методы радиофизических измерений и	Знать методы теории колебаний, необходимые для приобретения новых знаний в области теоретической физики,	<i>Собеседование, задача</i>

научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;	методы обработки результатов.	электродинамики, электроники.	
	ОПК-2.2 Формулирует задачи экспериментального и теоретического исследования в области радиофизики, использует радиофизическое измерительное оборудование и применяет теоретические методы.	Уметь применять аппарат теории колебаний, необходимый для изучения теоретической физики, электродинамики, электроники.	
	ОПК-3.3 Применяет практические навыки радиофизических исследований и представления результатов.	Владеть навыками использования математического аппарата теории колебаний, применяемого в теоретической физике, электродинамике, электронике.	

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	8 ЗЕТ
Часов по учебному плану	288
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	64
- занятия семинарского типа	48
(практические занятия / лабораторные работы)	

самостоятельная работа	91
КСР	4
Промежуточная аттестация – экзамен	81

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	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	Занятия лабораторного типа	Всего	
Базовые идеи и подходы теории колебаний	28	6	4		10	18
Основные методы теории колебаний	42	15	7		22	20
Исследование базовых моделей теории колебаний	36	11	5		16	20
Параметрические системы.	13	6			6	7
Резонансное взаимодействие осцилляторов	13	6			6	7
Простые волны и образование разрывов.	23	6	10		16	7
Стационарные волны в консервативных и автоколебательных системах.	24	7	10		18	6
Автоколебания в многомерных динамических системах.	24	7	8		18	6
В т. ч. текущий контроль	4		4		4	
Промежуточная аттестация – экзамен	81					

Текущий контроль успеваемости проходит в рамках практических занятий. Итоговый контроль осуществляется на экзамене.

Содержание разделов дисциплины (5 семестр)

Раздел 1. Базовые идеи и подходы теории колебаний

Историческое введение, формулировка предмета и содержания теории колебаний. Понятие динамической системы и фазового пространства, системы с непрерывным и дискретным

временем, грубой динамической системы.

Динамические системы на прямой. Грубые состояния равновесия. Основные бифуркации.

Раздел 2. Основные методы теории колебаний

Устойчивость линеаризованных сосредоточенных систем с непрерывным и дискретным временем

Сведение задачи к оценке расположения корней характеристического уравнения на комплексной плоскости. Классификация типов состояний равновесия (особых точек) в системах второго и третьего порядка; исследование их устойчивости. Простейшие динамические системы с дискретным временем. Отображение Пуанкаре. Классификация неподвижных точек одномерных и двумерных точечных отображений.

Колебания в нелинейных системах с одной степенью свободы

Линейный и нелинейный осцилляторы. Фазовый портрет. Резонанс в нелинейном осцилляторе. Основы качественной теории и теории бифуркаций динамических систем на плоскости. Грубые предельные циклы, основные характеристики. Основные (коразмерности 1) бифуркации динамических систем на плоскости: двукратное равновесие, нейтральное равновесие (бифуркация Андронова-Хопфа), двукратный предельный цикл, петля сепаратрисы седла и седло-узла, сепаратрисная связка.

Автоколебательные системы

Система с одной степенью свободы. Физические примеры. Метод разрывных колебаний. Метод Ван-дер-Поля (автономный и неавтономный случаи). Связанные автогенераторы. Явление захватывания, определение полосы синхронизации. Конкуренция колебаний в многомодовых автогенераторах.

Колебания и волны в упорядоченных структурах

Приводятся дисперсионные уравнения для цепочек связанных осцилляторов. Вводится физический смысл понятия "дисперсия". Переход от дискретных структур к распределенным. Фазовая и групповая скорости, распространение волнового пакета. Характеристические уравнения ограниченных распределенных систем.

Раздел 3. Исследование базовых моделей теории колебаний

Динамика сверхпроводящего Джозефсоновского контакта и маятника в вязкой среде. Исследование уравнений Ван-дер-Поля и Рэля. Конкуренция колебаний в многомодовых автогенераторах.

Содержание разделов дисциплины (6 семестр)

Раздел 1. Параметрические системы

Рассматривается параметрический резонанс в системах с одной степенью свободы. Теория Флоке. Уравнение Матье. Асимптотический метод. Определение зон параметрической неустойчивости. Системы с медленно меняющимися параметрами. Адиабатические инварианты. Распространение гармонической волны в средах с плавной неоднородностью.

Раздел 2. Резонансное взаимодействие осцилляторов

Взаимодействие трех связанных осцилляторов в системе с квадратичной нелинейностью. Соотношение Мэнли-Роу. Резонансное взаимодействие волн в слабонелинейных средах с дисперсией.

Раздел 3. Простые волны и образование разрывов

Гравитационные волны на мелкой воде. Теория характеристик. Формирование разрывов. Определение координат разрыва.

Раздел 4. Стационарные волны в консервативных и автоколебательных распределенных системах

Стационарные ударные волны. Уединенные волны - солитоны. Солитоны в уравнении Кортевега де Вриза. Эволюция нестационарного возмущения.

Раздел 5. Автоколебания в многомерных динамических системах

Основные (коразмерности 1) бифуркации многомерных динамических систем: Бифуркации состояний равновесия: двукратное равновесие, бифуркация Андронова-Хопфа. Бифуркации периодических движений: двукратный предельный цикл, удвоение периода, рождение инвариантного тора. Нелокальные бифуркации в окрестности гомоклинической траектории. Динамический хаос. Странный аттрактор. Характеристические показатели Ляпунова. Фрактальные структуры и размерность странных аттракторов. Ляпуновская размерность. Переход к хаосу через последовательность бифуркаций удвоения периода. Универсальность Фейгенбаума. Сценарии перехода к хаосу через бифуркации квазипериодических движений. Модели Ландау-Хопфа Рюэля-Тakens. Хаос в системах с гомоклинической кривой. Отображение подкова Смейла.

Образовательные технологии

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме практических занятий.

Образовательные технологии, способствующие формированию компетенций

используемые на занятиях лекционного типа:

- лекции с проблемным изложением учебного материала.

используемые на занятиях практического типа:

- регламентированная самостоятельная деятельность студентов;

- решение проблемных ситуаций для реализации технологии коллективной мыслительной деятельности.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Темы практических занятий, по которым дается домашнее задание

5 семестр

Знакомство с аппаратом фазового пространства. Понятие о грубых и негрубых динамических системах (на примере систем на прямой). Исследование систем на прямой.

Исследование грубых состояний равновесия на фазовой плоскости и в трехмерном пространстве. Линеаризация и составление характеристических уравнений.

Методы определения устойчивости состояний равновесия линеаризованных систем. Метод Гурвица.

Знакомство с методом точечных преобразований. Исследование грубых неподвижных точек одномерных и двумерных точечных отображений.

Нелинейный осциллятор. Построение фазового портрета.

6 семестр

Исследование автоколебательных систем на плоскости методом разрывных колебаний.

Метод Ван-дер-Поля для автономных систем. Нахождение частоты и амплитуды автоколебаний.

Метод Ван-дер-Поля для неавтономных систем.

Изучение динамических систем с дискретным временем. Исследование неподвижных точек одномерных точечных отображений.

Отображение Пуанкаре. Исследование автоколебательных систем на плоскости методом точечных отображений.

Цепочечные структуры. Вывод уравнений и составление дисперсионных характеристик, определение собственных частот.

Переход от цепочечных структур к сплошной среде. Составление дисперсионных уравнений непрерывных распределенных систем. Критерий Стэррока.

Стационарные волны в консервативных средах.

Простые волны. Эволюция простых волн, определение координат разрывов.

Стационарные волны в неконсервативных средах.

Выполнение домашних заданий проверяется на занятиях. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы – основная и дополнительная литература.

Темы лабораторных занятий

Не предусмотрены

Вопросы, которые должны быть проработаны в ходе самостоятельной работы

5 семестр

Определение грубой (структурно-устойчивой) системы на фазовой плоскости.

Определение состояния равновесия и предельного цикла на фазовой плоскости.

Отображение Пуанкаре.

Двукратное и нейтральное равновесия на фазовой плоскости.

Двукратный предельный цикл. Определение и основные свойства.

Петля сепаратрисы седла и седло-узла. Определение и основные свойства.

Автоколебания. Определение и основные свойства.

Построение фазового портрета двумерных систем методом Ван-дер-Поля и разрывных колебаний.

Дисперсия волн и диспергирующая среда.

Построение вольтамперной характеристики Джозефсоновского контакта.

6 семестр

Условия существования параметрического резонанса.

Определение распадной неустойчивости.

Основные свойства солитонов.

Основные сценарии потери устойчивости периодических движений трехмерных систем.

Динамический хаос.

Примеры систем, генерирующих фрактальные структуры.

Ляпуновская размерность.

В чем состоит универсальность Фейгенбаума.

Как описывается поведение траекторий в окрестности гомоклинической орбиты, образованной сепаратрисой седло-фокуса.

Основные сценарии перехода к хаосу.

4. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать основные составляющие аппарата теории колебаний (определения, математические методы, теоремы).	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными и погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> Уметь применять формульный аппарат теории колебаний для решения физических задач	Отсутствует способность решения стандартных задач	Наличие грубых ошибок при решении стандартных задач	Способность решения основных стандартных задач с существенными ошибками	Способность решения всех стандартных задач с незначительными погрешностями	Способность решения всех стандартных задач без ошибок и погрешностей	Способность решения стандартных и некоторых нестандартных задач	Способность решения стандартных задач и широко круга нестандартных задач
<u>Навыки</u> Владеть аппаратом теории колебаний	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объеме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком
Шкала оценок по проценту	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

правильно выполненных контрольных заданий							
--	--	--	--	--	--	--	--

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	<p>Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом, студент демонстрирует творческий подход к решению нестандартных ситуаций. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждая теоретический материал практическими примерами. Студент активно работал на практических занятиях.</p> <p>100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий</p>
Отлично	<p>Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждает теоретический материал практическими примерами. Студент активно работал на практических занятиях.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше</p>
Очень хорошо	<p>Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета при наличии неточностей.</p> <p>Студент активно работал на практических занятиях.</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 при наличии неточностей. Допускаются ошибки при ответах на дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора. Студент работал на практических занятиях.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний,</p>

	<p>делает существенные ошибки, но при ответах на наводящие вопросы, может правильно сориентироваться и в общих чертах дать правильный ответ. Студент посещал практические занятия.</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.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.</p>
Плохо	<p>Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.</p>

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1 Контрольные вопросы

вопросы	Код формируемой компетенции
5 семестр	
Динамические системы с дискретным и непрерывным временем. Фазовое пространство. Типы траекторий. Динамические системы с диссипацией.	ОПК-1
Бифуркации состояний равновесия динамических систем на прямой: двукратное равновесие, транскритическая.	ОПК-1
Транскритическая бифуркация состояний равновесия на прямой.	ОПК-1
Бифуркация состояний равновесия динамических систем на прямой: трехкратное равновесие.	ОПК-1
Устойчивость по Ляпунову состояний равновесия.	ОПК-1
Метод линеаризации определения устойчивости состояний равновесия.	ОПК-1
Классификация состояний равновесия динамических систем на плоскости (случай действительных корней).	ОПК-1
Классификация состояний равновесия трехмерных систем (случай действительных корней).	ОПК-1
Критерий Рауса-Гурвица.	ОПК-1
Основные свойства точечных отображений. Отображение Пуанкаре.	ОПК-1
Классификация неподвижных точек двумерных точечных	ОПК-1

отображений (действительные мультипликаторы).	
Классификация неподвижных точек двумерных точечных отображений (комплексные мультипликаторы).	ОПК-1
Грубые предельные циклы в пространстве (действительные мультипликаторы).	ОПК-1
Линейный осциллятор. Основные свойства.	ОПК-2
Нелинейный осциллятор. Основные свойства.	ОПК-2
Предельные циклы динамических систем на плоскости. Основные характеристики.	ОПК-2
Орбитальная устойчивость.	ОПК-2
Седло-узловая бифуркация состояний равновесия на плоскости.	ОПК-2
Суперкритическая бифуркация Андронова-Хопфа.	ОПК-2
Субкритическая бифуркация Андронова-Хопфа.	ОПК-2
Бифуркация петли сепаратрис седло-узла.	ОПК-2
Бифуркация двукратного предельного цикла.	ОПК-2
Бифуркация петли сепаратрисы седла (случай отрицательной седловой величины).	ОПК-2
Бифуркация петли сепаратрис седла (случай положительной седловой величины).	ОПК-2
Определение грубости (структурной устойчивости) динамических систем на плоскости.	ОПК-2
Условия грубости динамических систем на плоскости.	ОПК-2
Релаксационные периодические колебания.	ОПК-2
Динамика быстро-медленных систем с однократной релаксацией.	ОПК-2
Функция Ляпунова. Второй метод Ляпунова.	ОПК-2
Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона. Эквивалентная схема контакта Динамика Джозефсоновского контакта в случае $0 < \gamma < 1$.	ОПК-2
ВАХ Джозефсоновского контакта.	ОПК-2
Динамика Джозефсоновского контакта в случае $\gamma = 0$.	ОПК-2
Динамика Джозефсоновского контакта в случае $\gamma > 1$	ОПК-2
<i>6 семестр</i>	
Вынужденные колебания линейного осциллятора (консервативный случай).	ОПК-1
Вынужденные колебания линейного осциллятора (диссипативный случай).	ОПК-1
Резонанс в нелинейном осцилляторе (консервативный случай).	ОПК-1
Резонанс в нелинейном осцилляторе (диссипативный случай).	ОПК-1
Вынужденная синхронизация (исследование укороченной системы).	ОПК-1
Вынужденная синхронизация. Отображение Пуанкаре. Полоса синхронизации.	ОПК-1
Автоколебания и автоколебательные системы. Основные свойства.	ОПК-1

Автоколебания в системе с активным элементом (мягкий режим возбуждения).	ОПК-1
Автоколебания в системе с активным элементом (жесткий режим возбуждения).	ОПК-1
Бифуркация Андронова-Хопфа в пространстве (случай отрицательной ляпуновской величины).	ОПК-1
Бифуркация Андронова-Хопфа в пространстве (случай положительной ляпуновской величины).	ОПК-1
Метод Ван-дер-Поля для слабонелинейных систем с одной степенью свободы.	ОПК-1
Метод Ван-дер-Поля для автономных систем.	ОПК-1
Колебания и волны в цепочке взаимосвязанных линейных осцилляторов. Дисперсия.	ОПК-1
Дисперсия. Построение дисперсионного уравнения для одномерной среды. Влияние граничных условий.	ОПК-2
Длинноволновый переход от упорядоченной структуры к среде.	ОПК-2
Структуры Тьюринга.	ОПК-2
ВАХ Джозефсоновского контакта.	ОПК-2
Теория Флоке.	ОПК-2
Параметрические колебания маятника.	ОПК-2
Устойчивость и неустойчивость нулевого решения линейных параметрических систем. Параметрический резонанс.	ОПК-2
Колебания маятника с вибрирующей точкой подвеса.	ОПК-2
Приближение ВКБ. Адиабатический инвариант.	ОПК-2
Волны на мелкой воде.	ОПК-2
Простые волны. Образование разрыва	ОПК-2
Солитоны в уравнении КдВ (существование).	ОПК-2
Солитоны в уравнении КдВ (устойчивость).	ОПК-2
Устойчивость солитонов в уравнении Кортевега-де-Вриза.	ОПК-2
Двукратный предельный цикл в пространстве.	ОПК-2
Бифуркация удвоения периода периодического движения.	ОПК-2
Бифуркация рождения инвариантного тора.	ОПК-2

5.2.2. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1. Исследуйте динамику системы

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -x_1 + a \\ \dot{x}_2 = x_1 + bx_2 \end{cases}$$

в которой a и b удовлетворяют условиям: $a > 0$, $b \in \mathbb{R}$. Постройте фазовые портреты системы для различных значений параметра b . Найдите уравнения особых траекторий системы (ведущего и не ведущего направлений узла, сепаратрис седла).

2. Для уравнения:

$$\dot{x} = x - \frac{ax}{x+1},$$

определенного, при $x > -1$, где a – положительный параметр, постройте бифуркационную диаграмму и установите тип, происходящей бифуркации.

5.2.3. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-2

1. Рассмотреть квадратичные отображения:

$$\bar{x} = x^2 + \mu,$$

где μ – параметр.

- а) Найти и классифицировать неподвижные точки, как функции параметра μ .
 - б) Найти значения параметра μ , при которых происходят бифуркации неподвижных точек, и провести классификацию этих бифуркаций.
 - в) Для каких значений μ существуют устойчивые периодические траектории периода 2.
2. Построить фазовый портрет и описать качественно возможные колебательные режимы системы:

$$\ddot{x} + x(x^2 - 1) = 0.$$

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Некоркин В.И. Лекции по основам теории колебаний: Учебное пособие. – Нижний Новгород: издательство Нижегородского госуниверситета, 2012. – 311 с.
2. А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э. Хайкин. Теория колебаний, –М.: Физматгиз, 1959, http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=123658

б) дополнительная литература:

1. Матросов В.В. Вынужденная синхронизация. Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2013. http://www.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/manual_matrosov_forced_synch.pdf
2. Исследование динамики систем с разрывными колебаниями: Составитель Мотова М.И. Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2010. http://www.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/manual_motova_break.doc
3. Алдошин Г. Т. Теория линейных и нелинейных колебаний. Изд-во "Лань", 2013, 320 с. https://e.lanbook.com/book/4640?category_pk=918#authors

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения:

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 – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.03 Радиофизика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 7 августа 2020 г. N 912.

Автор Некоркин В.И.

Рецензент (ы) Канаков О.И.

Заведующий кафедрой Матросов В.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета/института

от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.