

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 президиума  
ученого совета ННГУ  
протокол от  
«14» декабря 2021 г. № 4

**Рабочая программа дисциплины**

Колебания и волны. Оптика  
(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)

Нижний Новгород

2022 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.08 Колебания и волны. Оптика</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. ОПК-1.2. Анализирует физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач. ОПК-1.3. Решает научно-исследовательские задачи, в том числе в сфере педагогической деятельности.	З1 (ОПК-1) Знать методики получения базовых знаний по физике колебаний и волн и основам оптики У1 (ОПК-1) Уметь овладевать базовыми знаниями по физике колебаний и волн и основам оптики и использовать их в профессиональной деятельности В1 (ОПК-1) Владеть опытом получения базовых знаний по физике колебаний и волн и основам оптики и их использования в профессиональной деятельности	<i>Задача</i>

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма
--	-------------

	<b>обучения</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>6 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>216</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>64</b>
- занятия семинарского типа ( практические занятия / лабораторные работы)	<b>32</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>73</b>
<b>КСР</b>	<b>2</b>
<b>Промежуточная аттестация – экзамен/зачет</b>	<b>45</b>

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	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	
Линейные колебательные системы с одной степенью свободы	38	14	8		22	16
Спектральное представление сигналов	8	4			4	4
Колебательные системы с несколькими степенями свободы	6	2	2		4	2
Параметрические и нелинейные колебательные системы	8	4			4	4
Кинематика волн	12	4	4		8	4
Интерференция	18	5	7		12	6
Электромагнитные волны	45	17	7		24	21
Дифракция	34	14	4		18	16
В т. ч. текущий контроль	2		2		2	

## Промежуточная аттестация – экзамен

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

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

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

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

включающий:

#### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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, без ошибок.	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 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 владения материалом. 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 недочетами	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
---------------	--	--	---	---	---	---	---

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	<b>превосходно</b>	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
<b>зачтено</b>	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	<b>удовлетворительно</b>	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»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

### 5.2.1 Контрольные вопросы

вопросы	Код формируемой компетенции
<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<i>ОПК-1</i>
1. Классификация колебаний. Единый подход к описанию колебаний различной физической природы. Что такое	<i>ОПК-1</i>

радиофизика?	
ЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ	ОПК-1
2. Примеры линейных колебательных систем с одной степенью свободы. Уравнение линейного осциллятора.	ОПК-1
3. Свободные (собственные) колебания гармонического осциллятора. Фазовый портрет. Превращения энергии при колебаниях.	ОПК-1
4. Затухающие свободные колебания линейного осциллятора. Характеристики затухания. Фазовый портрет.	ОПК-1
5. Аперiodический и критический режимы свободных колебаний линейного осциллятора. Фазовые портреты.	ОПК-1
6. Линейный осциллятор с «отрицательным» трением (пример – модель возбуждения струны смычком). Фазовые портреты.	ОПК-1
7. Вынужденные колебания линейного осциллятора. Явление резонанса, резонансные кривые (пример - колебательный контур).	ОПК-1
8. Фазовые соотношения при вынужденных колебаниях линейного осциллятора.	ОПК-1
9. Сложение двух скалярных гармонических колебаний с близкими частотами. Битения.	ОПК-1
10. Сложение двух взаимно-перпендикулярных гармонических колебаний с близкими частотами.	ОПК-1
11. Процессы установления колебаний (переходные процессы): резонансный и нерезонансный случаи.	ОПК-1
12. Решение уравнения гармонического осциллятора при произвольной вынуждающей силе.	ОПК-1
СПЕКТРАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СИГНАЛОВ	ОПК-1
13. Разложение периодической функции в ряд Фурье (пример - последовательность прямоугольных импульсов).	ОПК-1
14. Представление непериодической функции интегралом Фурье (пример – прямоугольный импульс). Соотношение неопределенностей для преобразования Фурье.	ОПК-1
15. Спектральное разложение как физическое явление. Отклик линейного осциллятора на произвольное внешнее воздействие. Колебательный контур как спектральный прибор. Опыт Мандельштама.	ОПК-1
16. Принцип радиосвязи. АМ-сигнал и его спектр. Колебательный контур как селективный приемник радиосигналов.	ОПК-1
КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С НЕСКОЛЬКИМИ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ	ОПК-1
17. Примеры связанных колебаний. Свободные колебания в системе двух связанных контуров. Нормальные колебания.	ОПК-1
18. Вынужденные колебания в системе двух связанных контуров. Резонансная кривая. Динамическое демпфирование.	ОПК-1
ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ	ОПК-1
19. Энергетика параметрических колебательных систем (пример – скачкообразное изменение емкости в	ОПК-1

колебательном контуре). Параметрический резонанс (пример – колебательный контур с периодически изменяемой емкостью).	
20. Примеры нелинейных осцилляторов. Особенности свободных колебаний нелинейного осциллятора: ангармонизм, неизохронность. Особенности вынужденных колебаний нелинейного осциллятора: генерация гармоник и субгармоник, гистерезис резонансной кривой. Автоколебания (пример – генератор Ван-дер-поля).	ОПК-1
КИНЕМАТИКА ВОЛН	ОПК-1
21. Волновое уравнение (одномерное и трехмерное). Бегущие недеформирующиеся волны: плоские, сферические, цилиндрические.	ОПК-1
22. Дисперсия. Дисперсионное уравнение. Нормальная и аномальная дисперсии. Распространение волновых пакетов на примере тригармонической волны. Первое приближение теории дисперсии. Фазовая и групповая скорости.	ОПК-1
ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ	ОПК-1
23. Явление интерференции. Интерференция двух встречных плоских волн. Стоячая волна.	ОПК-1
24. Интерференция двух сферических волн.	ОПК-1
25. Особенности интерференции в оптике. Классические опыты с раздвоением источника.	ОПК-1
26. Интерференция света в тонких пленках. Просветление оптики. Полосы равного наклона и равной толщины.	ОПК-1
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ	ОПК-1
27. Вывод волнового уравнения из уравнений Максвелла. Плоские бегущие синусоидальные волны. Дисперсионное уравнение. Показатель преломления. Поперечность волн. Связь между электрическим и магнитным полями. Импеданс. Поляризация.	ОПК-1
28. Стоячая синусоидальная электромагнитная волна.	ОПК-1
29. Теорема Пойнтинга, вектор Пойнтинга. Энергетика электромагнитных волн с примерами (бегущая и стоячая волна).	ОПК-1
30. Излучение электромагнитных волн элементарным вибратором. Свойства поля излучения. Диаграмма направленности, сопротивление излучения.	ОПК-1
31. Излучение одиночного заряда. Формула Лармора.	ОПК-1
32. Решетки из вибраторов. Условия острой направленности излучения. Ширина главного лепестка диаграммы направленности.	ОПК-1
33. Нормальное падение электромагнитной волны на границу раздела двух диэлектрических сред. Согласование сред. Фазовые соотношения.	ОПК-1
34. Наклонное падение электромагнитной волны на границу раздела двух диэлектрических сред. Закон Снелля. Формулы Френеля.	ОПК-1

35.	Явления Брюстера и полного (внутреннего) отражения.	ОПК-1
36.	Дисперсионные свойства нормальных волн в одноосном кристалле. Поверхности нормалей.	ОПК-1
37.	Поляризационная структура нормальных волн в одноосном кристалле. Лучи, лучевые поверхности.	ОПК-1
38.	Преломление на границе одноосного кристалла. Построение Гюйгенса.	ОПК-1
39.	Фазовые пластинки.	ОПК-1
40.	Интерференция поляризованных лучей. Хроматическая поляризация.	ОПК-1
ДИФРАКЦИЯ		ОПК-1
41.	Принцип Гюйгенса-Френеля как метод решения дифракционных задач.	ОПК-1
42.	Дифракция на круглом отверстии. Зоны Френеля.	ОПК-1
43.	Зонные пластинки (амплитудная и фазовая).	ОПК-1
44.	Дифракция на узкой щели. Спираль Корню.	ОПК-1
45.	Дифракция на прямоугольном отверстии.	ОПК-1
46.	Дифракция на крае экрана.	ОПК-1
47.	Дифракция на бесконечно длинной щели произвольной ширины. Предельные случаи дифракции Френеля.	ОПК-1
48.	Дифракция Фраунгофера на бесконечно длинной щели.	ОПК-1
49.	Амплитудная дифракционная решетка.	ОПК-1
50.	Дифракционная решетка как спектральный прибор.	ОПК-1
51.	Продольный и поперечный масштабы когерентности (с примерами применения).	ОПК-1

### 5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-1

#### Примеры контрольных задач:

1. Свет с длиной волны  $0.6 \text{ мкм}$  падает нормально на поверхность стеклянного диска, который перекрывает полторы зоны Френеля для точки наблюдения Р. При какой толщине этого диска интенсивность света в точке Р будет максимальной?
2. Плоская поляризованная по кругу монохроматическая волна света длины  $\lambda$  интенсивности  $I_0$  падает на диск, вырезанный из поляроида, показатель преломления которого равен  $n$ . Диск закрывает для некоторой точки Р одну зону Френеля. Какова должна быть толщина  $d$  диска, чтобы интенсивность света в точке Р была максимальной? Найти эту интенсивность  $I_{\text{max}}$ .
3. Как изменится дифракционная картина Фраунгофера от щели, если половина щели закрыта плоскопараллельной стеклянной пластиной?

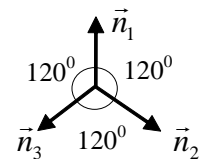
#### Примерный список домашних заданий:

1. Сложение синхронных векторных колебаний  
Анализ различных случаев сложения.



Сложить векторы  $\vec{B}_1 = \vec{n}_1 B_0 \cos \omega t$ ,  $\vec{B}_2 = \vec{n}_2 B_0 \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$  и

$\vec{B}_3 = \vec{n}_3 B_0 \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$ . Расположение векторов  $\vec{n}_1$ ,  $\vec{n}_2$  и  $\vec{n}_3$  указано на



рисунке:

Як. 536

На дом: [2] 537, 538

2. Свободные колебания линейного осциллятора

[2] 586, 575, 545, 588, [1] 4.73, 4.118, 4.115, 4.110, 4.111

На дом: [1] 4.126, 4.132, 4.134

3. Вынужденные колебания линейного осциллятора

[2] 601, 603, [1] 4.92, 4.94

На дом: [1] 4.158, [2] 609

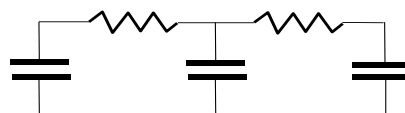
4. Переходные процессы

[1] 4.88, 4.87, 4.86, [2] 554

На дом: [1] 4.85, [2] 550, 551, 563

5. Связанные колебания

[1] 4.63, 4.67, 4.133, Исследовать связанные колебания в предложенной схеме.



6. Эффект Доплера

Вывод формул для эффекта Доплера в акустике и оптике. [1] 4.209, 5.244.

На дом: [1] 4.203, 5.245, 5.252.

7. Сложение эквидистантных по фазе колебаний. Кинематика волн

Вывести (методом векторных диаграмм и методом комплексных амплитуд) и проанализировать формулу для суммы  $N$  эквидистантных по фазе колебаний одинаковой амплитуды и частоты. Построить зависимость интенсивности результирующего колебания от величины фазового сдвига при  $N = 6$ .

[1] 4.170, 4.172; [2] 581.

На дом: Построить зависимость интенсивности от величины фазового сдвига при  $N = 7$ ; [1] 4.171, 5.223; [2] 583.

8. Интерференция

[2] 204, 208, 209, 210; [1] 5.75; [2] 220, 221.

На дом: [1] 5.73, 5.76; [2] 222.

9. Интерференция. Влияние немонахроматичности и размеров источника

Рассчитать интерференционную картину в опыте с зеркалом Ллойда для случаев, когда “точечный” источник испускает:

а) квазимонохроматический свет;

б) дублет с близкими длинами волн;

в) свет со сплошным спектром в некотором интервале.

В опыте с зеркалом Ллойда рассмотреть случай, когда квазимонохроматический источник представляет собой короткий светящийся отрезок, перпендикулярный зеркалу.

На дом: [1] 5.77; [2] 226.

10. Интерференция в тонких пленках

[2] 235, 238, 255, 251, 252.

На дом: [2] 239, 256.

11. Вектор Пойнтинга. Формула Лармора

[1] 4.222, 4.229, 4.227, 4.240, 4.251.

На дом: [1] 4.228, 4.235, 4.238, 4.252.

12. Вибраторы

Исследовать зависимость диаграммы направленности двух синфазных вибраторов в экваториальной плоскости от расстояния между ними.

Два элементарных вибратора колеблются с одинаковыми амплитудами, частотами и фазами. Найти диаграмму направленности в плоскости чертежа и поляризации волнового поля при различных взаимных расположениях и ориентациях вибраторов (d- расстояние между вибраторами).

[1] 4.251.

Найти диаграмму направленности сдвоенной решетки из вибраторов.

На дом: [1] 4.251; найти диаграмму направленности антенны из 4 синфазных вибраторов.

13. Кристаллооптика

Выполнить построение Гюйгенса на границе одноосного кристалла для различных ориентаций оптической оси.

[1] 5.198, 5.197; [2] 504.

На дом: [1] 5.195; [2] 507, 511, 523.

14. Дифракция на структурах с осевой симметрией

[1] 5.105, 5.106, 5.110; [2] 273, 272, 266, 422.

На дом: [1] 5.108, 5.109, 5.107.

15. Дифракция на прямоугольных структурах

[1] 5.116, 5.118, 5.120; [2] 423.

На дом: [1] 5.115, 5.117, 5.119.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. Горелик Г.С. Колебания и волны. 2007 - <http://znanium.com/go.php?id=944886>.

2. Трубецков Д.И., Рожнев А.Г. Линейные колебания и волны. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 47 экз.

3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.3. Электричество. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922106733.html>

4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.4. Оптика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922102281.html>

5. Сборник задач по общему курсу физики. Электричество и магнетизм. Под ред. И. А. Яковлева. М.: Наука, 1977. – 239 экз.
  6. Сборник задач по общему курсу физики. Оптика /Под ред. Д.В.Сивухина. М.: Наука, 1977. – 136 экз.
  7. Иродов Задачи по общей физике: учеб. пособие. М.: Наука, 1988. - 416с. – 376 экз.
- б) дополнительная литература:
1. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1981. – 349 экз.
- в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:
- <http://www.rf.unn.ru/generalphysics/ru/education>

#### 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также Центр физических демонстраций, включающий в себя Демонстрационный физический кабинет и Лабораторию технического сопровождения лекционного процесса. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории.

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 д.ф.-м.н. профессор Бакунов М.И.

Рецензент д.ф.-м.н. профессор Гильденбург В.Б.

Заведующий кафедрой д.ф.-м.н. профессор Бакунов М.И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета/института от «9» декабря 2021 года, протокол № 07/21