

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

Программа утверждена решением президиума
Ученого совета ННГУ
протокол от «14» декабря 2021г. № 4.

Рабочая программа дисциплины

Колебания и волны, оптика

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.02 - Физика

Направленность образовательной программы
Фундаментальная физика

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород

2022 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.О.08.04 «Колебания и волны, оптика» относится к обязательной части ООП направления подготовки 03.03.02 Физика.

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 физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;	Демонстрация способности применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	Знать основные понятия, относящиеся к простым гармоническим колебаниям, выводы уравнений для линейных и простейших нелинейных колебаний в различных физических системах, основные способы сложения скалярных и векторных гармонических колебаний одинаковой частоты и при малой частотной расстройке. Иметь представления об описании поведения колебательных систем с помощью фазовой плоскости, о поведении систем связанных гармонических осцилляторов. Знать решения одномерного волнового уравнения в виде бегущих волн и законы их отражения и прохождения на резких границах свойств среды. Знать основные понятия, относящиеся к электромагнитным волнам, вывод одномерного волнового уравнения электромагнитных волн, его решения в виде плоских электромагнитных волн, законы отражения и прохождения электромагнитных волн на	Собеседование и задачи (практические задания)

		<p>резких границах сред. Знать основные энергетические соотношения при распространении электромагнитных волн.</p> <p>Уметь пользоваться основными математическими методами теории колебаний и волн для описания поведения линейного осциллятора под действием внешней периодической (и гармонической) силы, нахождения резонансных характеристик различных колебательных систем, структуры собственных колебаний распределенных колебательных систем на примерах поперечных колебаний тяжелой натянутой струны и продольных колебаний упругого твердого стержня, а также уметь пользоваться основными математическими методами оптики для расчета интенсивности отраженной и преломленной волны, для получения решений простейших дифракционных задач.</p> <p>Владеть основными методами теории колебаний и волн и основными представлениями о поляризации электромагнитных волн, когерентности, дифракции, дисперсии электромагнитных волн.</p>	
--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная
--	-------

Общая трудоемкость	5
Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	64
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	46
Промежуточная аттестация	36 экзамен

3.2. Содержание дисциплины

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

Наименование и краткое содержание 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	Занятия лабораторного типа	Всего	
	очная	очная	очная	очная	очная	очная
Тема 1. Основные понятия, связанные с гармоническими колебаниями, линейный и нелинейный осциллятор	8	4	2	0	6	2
Тема 2. Движение гармонического осциллятора под действием внешней периодической силы	8	4	2	0	6	2
Тема 3. Параметрические системы	8	4	2	0	6	2
Тема 4. Релаксационные колебания, автоколебания, понятие о предельном цикле	8	4	2	0	6	2
Тема 5. Системы связанных линейных осцилляторов	8	4	2	0	6	2
Тема 6. Цепочки идентичных связанных линейных осцилляторов; переход к непрерывному описанию	8	4	2	0	6	2
Тема 7. Спектры колебаний. Непрерывные и дискретные сигналы	8	4	2	0	6	2

Тема 8. Одномерные волны, плоские волны	8	4	2	0	6	2
Тема 9. Гармонические волны в однородной среде	8	4	2	0	6	2
Тема 10. Плоские электромагнитные волны в однородной среде	10	4	2	0	6	4
Тема 11. Электромагнитные волны в анизотропных средах. Кристаллооптика	10	4	2	0	6	4
Тема 12. Излучение волн, цилиндрические и сферические волны	10	4	2	0	6	4
Тема 13. Исторический обзор развития представлений о природе света	10	4	2	0	6	4
Тема 14. Характеристики света, излучаемого естественными источниками.	10	4	2	0	6	4
Тема 15. Интерференция световых волн	10	4	2	0	6	4
Тема 16. Принцип Гюйгенса-Френеля и его использование в задачах дифракции	10	4	2	0	6	4
Аттестация	36					
КСР	2				2	
Итого	180	64	32	0	98	46

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.

Практическая подготовка предусматривает:

Разбор решения задач различной степени сложности, проведение обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в соответствующей области знаний. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 4 ч.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Применение знаний и умений при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности

- компетенций:

ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках: занятий семинарского типа, групповых консультаций, индивидуальных консультаций.

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 незначительных 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	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном

	ося от ответа	грубые ошибки.	но не в полном объеме.	полном объеме, но некоторые с недочетами.	некоторые с недочетами.	недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом . Невозможн ость оценить наличие навыков вследствие отказа обучающег ося от ответа	При решении стандартны х задач не продемонст рированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минималън ый набор навыков для решения стандартны х задач с некоторыми недочетами	Продемонстр ированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстр ированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонст рированы навыки при решении нестандартн ых задач без ошибок и недочетов.	Продемонст рирован творческий подход к решению нестандартн ых задач

Шкала оценки 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», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	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»
	Хорошо	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»
	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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

(согласно оценочным средствам табл.2)

5.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код формируемой компетенции
1) Основные характеристики скалярного гармонического колебания. Примеры механических и электрических колебаний. Уравнение гармонического осциллятора, его решение, интеграл энергии.	ОПК-1
2) Свободные колебания в консервативных системах. Анализ движения при помощи фазовой плоскости. Фазовый портрет гармонического осциллятора, фазовый портрет нелинейного осциллятора на примере физического маятника.	ОПК-1
3) Линейный осциллятор с затуханием, частота и декремент слабозатухающих колебаний, добротность, апериодические колебания. Фазовый портрет, энергетические соотношения.	ОПК-1
4) Сложение двух синхронных скалярных гармонических колебаний. Сложение двух взаимно ортогональных векторных колебаний. Сложение гармонических колебаний (скалярных, векторных) с близкими частотами. Биения.	ОПК-1
5) Метод векторных диаграмм. Метод комплексных амплитуд.	ОПК-1
6) Сложение произвольного числа синхронных гармонических колебаний. Сложение колебаний равной амплитуды, фазы которых образуют арифметическую прогрессию.	ОПК-1
7) Действие периодической импульсной силы на гармонический осциллятор без затухания. Принцип суперпозиции на примере действия периодической импульсной силы.	ОПК-1
8) Вынужденные колебания гармонического осциллятора (без затухания, с затуханием) под действием периодической импульсной вынуждающей силы.	ОПК-1
9) Движение гармонического осциллятора (без затухания, с затуханием) под действием внешней синусоидальной силы. Резонанс, резонансные кривые, добротность, установление колебаний.	ОПК-1
10) Параметрический резонанс. Теорема Флоке для уравнения Хилла. Уравнение Матье, параметрический резонанс в основной зоне Матье.	ОПК-1
11) Колебания систем в быстро осциллирующем поле, высокочастотный потенциал. Маятник Капицы, фазовый портрет при вертикальных и горизонтальных колебаниях точки подвеса.	ОПК-1
12) Колебания систем с медленно меняющимися параметрами. ВКБ приближение и адиабатические инварианты.	ОПК-1
13) Автоколебания. Маятниковые часы, ламповый генератор. Предельный цикл, условия возбуждения	ОПК-1

колебаний. Релаксационные колебания.	
14) Собственные колебания системы с двумя степенями свободы. Парциальные и нормальные частоты в системе двух связанных линейных осцилляторов, нормальные колебания.	ОПК-1
15) Вынужденные колебания в системе двух связанных осцилляторов (без затухания, с затуханием). Динамическое демпфирование. Резонансная кривая, критическая связь.	ОПК-1
16) Общие свойства свободных колебаний в системе N связанных линейных осцилляторов. Коэффициенты распределения амплитуд, нормальные координаты.	ОПК-1
17) Спектральное разложение периодического колебания. Ряд Фурье в действительной и комплексной форме. Примеры спектральных разложений. Колебательный контур как анализатор спектра.	ОПК-1
18) Спектральное разложение непериодического колебания. Спектры видеоимпульса и радиоимпульса. Свойства спектрального преобразования.	ОПК-1
19) Энергетический спектр случайного процесса. Функция автокорреляции.	ОПК-1
20) Теорема Котельникова. Дискретное преобразование Фурье. Простейшие цифровые фильтры.	ОПК-1
21) Модулированные колебания, виды модуляции. Амплитудная модуляция, демодуляция АМ колебаний. Преобразование частоты, комбинационные частоты. Гетеродинирование, супергетеродинный прием.	ОПК-1
22) Колебания в однородных цепочках гармонических осцилляторов. Дисперсионная характеристика. Длинноволновое приближение. Волны в цепочке с двумя сортами частиц.	ОПК-1
23) Плоские скалярные волны, скорость распространения. Монохроматические волны, длина волны. Векторные волны, основные типы поляризации волн.	ОПК-1
24) Стоячие волны. Интерференция двух плоских волн. Интерференция двух сферических волн.	ОПК-1
25) Продольные упругие волны в стержнях (пластинках). Волновое уравнение. Плотность энергии в упругой волне. Вектор Умова.	ОПК-1
26) Упругие волны в газах и жидкостях. Скорость звука. Прохождение и отражение упругой волны на границе двух сред.	ОПК-1
27) Стоячие волны в стержнях (пластинках). Собственные колебания стержня (пластинки). Поперечные волны на струне. Собственные колебания струны.	ОПК-1
28) Электромагнитные волны. Волновое уравнение.	ОПК-1
29) Плоские электромагнитные волны, связь между векторами электрического и магнитного поля, волновое сопротивление среды.	ОПК-1
30) Энергетические соотношения в плоской электромагнитной волне, вектор Пойнтинга.	ОПК-1

31) Плоские монохроматические электромагнитные волны. Типы поляризации. Стоячие электромагнитные волны.	ОПК-1
32) Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на границе раздела двух диэлектриков. Граничные условия. Законы Снеллиуса.	ОПК-1
33) Формулы Френеля для интенсивности отраженной и преломленной волны. Явление Брюстера. Коэффициенты отражения и прохождения при нормальном падении.	ОПК-1
34) Электромагнитные волны в анизотропных средах. Распространение волн в одноосных кристаллах, двулучепреломление.	ОПК-1
35) Распространение волн в гиротропных средах, вращение плоскости поляризации.	ОПК-1
36) Излучение точечного диполя. Диаграмма направленности. Сопротивление излучения. Излучение полуволнового вибратора.	ОПК-1
37) Излучение антенны, состоящей из двух параллельных вибраторов: а) с одинаковой фазой колебаний; б) с разностью фаз $\pi/2$ при расстоянии между вибраторами, равном четверти длины волны.	ОПК-1
38) Излучение одномерной решетки из вибраторов. Диаграммы направленности.	ОПК-1
39) Классическая модель излучающего атома. Излучение естественных источников света. Временной и пространственный масштаб когерентности. Условия наблюдения интерференции света от естественных источников.	ОПК-1
40) Дифракция света. Принцип Гюйгенса – Френеля. Зоны Френеля.	ОПК-1
41) Фокусировка при помощи зонной пластинки, фазовой зонной пластинки. Идеальная линза. Дифракционные ограничения на размеры области фокусировки.	ОПК-1
42) Метод Френеля решения дифракционных задач. Зоны дифракции Френеля и Фраунгофера.	ОПК-1
43) Дифракция Френеля от прямолинейного края полуплоскости. Дифракция Френеля от круглого отверстия и от круглого непрозрачного экрана.	ОПК-1
44) Дифракция Фраунгофера на щели. Дифракция Фраунгофера на круглом отверстии.	ОПК-1
45) Дифракционная решетка, ее характеристики как спектрального прибора.	ОПК-1
46) Элементарная теория дисперсии электромагнитных волн. Распространение волновых пакетов в диспергирующих средах. Групповая скорость.	ОПК-1

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

Типовые задания для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

Задача 1. Найти период малых колебаний около положения равновесия частицы массы m , если она находится в одномерном потенциальном поле со следующей зависимостью потенциальной энергии U от координаты x :

$U(x) = a/x^2 - b/x$, где $a > 0$, $b > 0$ – постоянные.

Задача 2. Математический маятник с массой m и длиной нити подвеса l совершает свободные гармонические колебания, общая механическая энергия которых равна W . Какая работа совершается над системой при медленном укорочении нити подвеса вдвое?

Задача 3. В однородном стержне, площадь сечения которого S и плотность ρ , установилась стоячая волна вида $\xi = a \sin kx \cos \omega t$. Найти полную механическую энергию, заключенную между сечениями, которые проходят через соседние узлы смещения.

Задача 4. В вакууме вдоль оси x установилась стоячая электромагнитная волна $\mathbf{E} = E_m \cos(kx) \cos(\omega t)$. Найти x -проекцию вектора Пойнтинга $S_x(x, t)$ и ее среднее за период колебаний значение.

Задача 5. Плоская световая волна падает нормально на диафрагму с круглым отверстием, которое открывает первые 5 зон Френеля для точки P , расположенной в центре экрана на расстоянии b от диафрагмы. Длина волны света равна λ . Найти интенсивность света I перед диафрагмой, если известно распределение интенсивности света на экране $i(r)$, где r – расстояние до точки P .

Задача 6. В интерферометре Майкельсона использовалась жёлтая линия натрия, состоящая из двух компонент с длинами волн λ_1 и λ_2 . При поступательном перемещении одного из зеркал интерференционная картина периодически исчезала – почему? Найти длину перемещения зеркала между двумя последовательными появлениями наиболее чёткой интерференционной картины.

Задача 1. Однородный стержень массы m и длины l совершает малые колебания вокруг горизонтальной оси, проходящей через его верхний конец. Найти среднюю за период колебаний кинетическую энергию стержня, если в начальный момент его отклонили на угол φ_0 и сообщили ему угловую скорость ω_0 .

Задача 2. К источнику гармонического напряжения с частотой ω подключили параллельно конденсатор емкости C , а также катушку с индуктивностью L и сопротивлением R . Найти разность фаз между подводимым к контуру током и напряжением на источнике.

Задача 6. Найти коэффициент затухания γ звуковой волны, если на расстояниях $r_1 = 10$ м и $r_2 = 20$ м от точечного изотропного источника звука значения интенсивности волны отличаются в $n = 4.5$ раза.

Задача 4. Свет с длиной волны λ падает нормально на длинную прямоугольную щель ширины b . Найти угловое распределение интенсивности света в области дифракции Фраунгофера, а также угловое положение минимумов.

Задача 5. На двояколучепреломляющую пластинку падает квазимонохроматический световой пучок, линейно поляризованный под углом 45° к оптической оси кристалла. Какая будет поляризация на выходе из пластинки, если она обеспечивает сдвиг фаз $\pi/2$?

Задача 6. Показать, что при нормальном падении света на дифракционную решетку максимальная величина ее разрешающей способности не может превышать значения l/λ , где l – ширина решетки, λ – длина волны света.

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

а) основная литература:

- 1) Горелик Г.С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику, М.: Наука, Физматлит, 2007 – 656 с. - 40 экз.
- 2) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие. в 10 т. Т. 1. Механика.. М.: Физматлит, 2012. – 224 с. — Режим доступа: ЭБС «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922108195.html>
- 3) Сивухин Д. В. Общий курс физики - в 5 томах - Том IV - Оптика.. М.: Наука, 1985. – 751 с. - 24 экз.
- 4) Савельев И.В. Курс общей физики. В 5-и тт. Том 4. Волны. Оптика. 5-е изд. М.: Лань, 2011. – 256 с. — Режим доступа: ЭБС «Лань» <https://e.lanbook.com/book/707>

б) дополнительная литература:

- 1) Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Основы теории колебаний. Под ред. В.В. Мигулина. - М.: Наука, 1978, 1988. – 392с. -12 экз.
- 2) Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний, 2-е изд. М., Наука, 1981. – 568 с. -357 экз.
- 3) Ландсберг Г.С. Оптика.. М. : Наука, 1976. – 926 с. -396 экз.

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

- 1) Электронный научный архив УрФУ, Михельсон, А. В. Папушина, Т. И.Повзнер, А. А.Гофман, А. Г. Волновая оптика : учебное пособие для студентов, обучающихся по техническим направлениям подготовки и специальностям, 2013 , -120 с. <http://elar.urfu.ru/handle/10995/28594>
- 2) СНИУ им. Н.Г.Чернышевского, кафедра нелинейной физики, методические пособия <http://www.sgu.ru/structure/non-linearprocesses/nonlinphis/metodicheskie-posobiya>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

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

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО /ОС ННГУ по направлению 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): Е. А. Анашкина, А. В. Сидоров

Заведующий кафедрой:

Программа одобрена на заседании методической комиссии
ВШОПФ от 30.06.2021, протокол № 3.