

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

Высшая школа общей и прикладной физики

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ

протокол от  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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

2021 год

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.08.04, Колебания и волны, оптика относится к обязательной части ОПОП 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;	ОПК-1.1: Знания: ОПК-1.2: Умения: ОПК-1.3: Навыки:	ОПК-1.1: 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	Собеседование и задачи (практические задания)

		<p>электромагнитных волн на резких границах сред. Знать основные энергетические соотношения при распространении электромагнитных волн.</p> <p>ОПК-1.2: 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>ОПК-1.3: 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
--	-------

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

### 3.2. Содержание дисциплины

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

Наименование 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 ошибки.	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	При решении стандартных задач не продемонстрированы	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные	Продemonстрированы все основные умения, решены все	Продemonстрированы все основные умения. Решены все

	наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	основные умения.  Имели место грубые ошибки.	задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	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	Продемонстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки  при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных 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)

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

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



- 17) Спектральное разложение периодического колебания. Ряд Фурье в действительной и комплексной форме. Примеры спектральных разложений. Колебательный контур как анализатор спектра.
- 18) Спектральное разложение непериодического колебания. Спектры видеоимпульса и радиоимпульса. Свойства спектрального преобразования.
- 19) Энергетический спектр случайного процесса. Функция автокорреляции.
- 20) Теорема Котельникова. Дискретное преобразование Фурье. Простейшие цифровые фильтры.
- 21) Модулированные колебания, виды модуляции. Амплитудная модуляция, демодуляция АМ колебаний. Преобразование частоты, комбинационные частоты. Гетеродинирование, супергетеродинный прием.
- 22) Колебания в однородных цепочках гармонических осцилляторов. Дисперсионная характеристика. Длинноволновое приближение. Волны в цепочке с двумя сортами частиц.
- 23) Плоские скалярные волны, скорость распространения. Монохроматические волны, длина волны. Векторные волны, основные типы поляризации волн.
- 24) Стоячие волны. Интерференция двух плоских волн. Интерференция двух сферических волн.
- 25) Продольные упругие волны в стержнях (пластинках). Волновое уравнение. Плотность энергии в упругой волне. Вектор Умова.
- 26) Упругие волны в газах и жидкостях. Скорость звука. Прохождение и отражение упругой волны на границе двух сред.
- 27) Стоячие волны в стержнях (пластинках). Собственные колебания стержня (пластинки). Поперечные волны на струне. Собственные колебания струны.
- 28) Электромагнитные волны. Волновое уравнение.
- 29) Плоские электромагнитные волны, связь между векторами электрического и магнитного поля, волновое сопротивление среды.
- 30) Энергетические соотношения в плоской электромагнитной волне, вектор Пойнтинга.
- 31) Плоские монохроматические электромагнитные волны. Типы поляризации. Стоячие электромагнитные волны.
- 32) Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на границе раздела двух диэлектриков. Граничные условия. Законы Снеллиуса.
- 33) Формулы Френеля для интенсивности отраженной и преломленной волны. Явление Брюстера. Коэффициенты отражения и прохождения при нормальном падении.
- 34) Электромагнитные волны в анизотропных средах. Распространение волн в одноосных кристаллах, двулучепреломление.
- 35) Распространение волн в гиротропных средах, вращение плоскости поляризации.
- 36) Излучение точечного диполя. Диаграмма направленности. Сопротивление излучения. Излучение полуволнового вибратора.
- 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.
- 38) Излучение одномерной решетки из вибраторов. Диаграммы направленности.
- 39) Классическая модель излучающего атома. Излучение естественных источников света. Временной и пространственный масштаб когерентности. Условия наблюдения интерференции света от естественных источников.
- 40) Дифракция света. Принцип Гюйгенса – Френеля. Зоны Френеля.

- 41) Фокусировка при помощи зонной пластинки, фазовой зонной пластинки. Идеальная линза. Дифракционные ограничения на размеры области фокусировки.
- 42) Метод Френеля решения дифракционных задач. Зоны дифракции Френеля и Фраунгофера.
- 43) Дифракция Френеля от прямолинейного края полуплоскости. Дифракция Френеля от круглого отверстия и от круглого непрозрачного экрана.
- 44) Дифракция Фраунгофера на щели. Дифракция Фраунгофера на круглом отверстии.
- 45) Дифракционная решетка, ее характеристики как спектрального прибора.
- 46) Элементарная теория дисперсии электромагнитных волн. Распространение волновых пакетов в диспергирующих средах. Групповая скорость.

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

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  $x$ :

$$U(x) = a/x^2 - b/x, \text{ где } a > 0, b > 0 - \text{ постоянные.}$$

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  $\rho$ , 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  $E = E_m \cos(kx) \cos(\omega t)$ . 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  $\lambda$ . 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  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . 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  $\varphi_0$  и сообщили ему угловую скорость  $\omega_0$ .

Задача 2. К источнику гармонического напряжения с частотой  $\omega$  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  $\gamma$  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  $\lambda$  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  $45^\circ$  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  $l / \lambda$ , где  $l$  – ширина решетки,  $\lambda$  – 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 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.