

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»
(МФТИ)**

УТВЕРЖДАЮ

Ректор МФТИ

Д-р физ.-мат. наук, профессор

Д.В. Ливанов

«21» августа 2023 г.



**Дополнительная общеобразовательная
программа
дополнительного образования
«Физическая оптика»**

Москва 2023

1. Общая характеристика программы

1.1. Целью реализации дополнительной общеобразовательной программы «Физическая оптика» является изучение основных принципов и явлений физической оптики, развитие у слушателей навыков анализа оптических явлений и применения их в различных областях науки и техники.

1.2. Категории слушателей, на обучение которых рассчитана программа дополнительного образования (далее – программа): программа предназначена для любых слушателей, желающих изучить основные принципы и явления физической оптики.

1.3. Нормативный срок освоения программы – 108 академических часов.

1.4. Форма обучения – очно-заочная с применением дистанционных образовательных технологий.

Программа может быть реализована в сетевой форме.

1.5. Режим обучения: 14 недель (7-8 часов в неделю).

2. Планируемые результаты обучения

В результате освоения программы слушатель должен:

знать:

- фундаментальные законы и понятия оптики, а также границы их применимости
- основные математические методы, характерные для задач физической оптики

уметь:

- применять изученные общие физические законы для решения конкретных практических задач по оптике;
- применять различные математические инструменты решения задач исходя из сформулированных физических законов, и проводить необходимые аналитические и численные расчёты;
- анализировать физические задачи, выделяя существенные и несущественные аспекты явления, и на основе проведённого анализа строить упрощённые теоретические модели физических явлений;
- проводить количественные оценки и оценивать возможность применимости теоретических моделей

3. Структура программы

Программа предусматривает изучение следующих тем (модулей):

1. Волновое уравнение
2. Элементы геометрической оптики

3. Поляризация света
4. Интерференция монохроматических волн
5. Дифракция волн
6. Дифракция Фраунгофера
7. Принципы Фурье-оптики
8. Источники излучения и их спектры
9. Принципы работы лазеров
10. Понятие о рассеянии света

Структура программы представлена в таблице 1.

Таблица 1

№	Тема (модуль)	Кол-во часов	В том числе	
			Аудит. занятия	Самост. работа
1	Электромагнитные волны	9,2	4,8	4
2	Элементы геометрической оптики	7,9	3,9	4
3	Дисперсия и поляризация волн	8,6	4,4	4
4	Проверочная неделя №1	4		4
5	Интерференция	10	5,3	4
6	Дифракция Френеля	6,7	3,1	3,9
7	Дифракция Фраунгофера	8	4	6
8	Элементы Фурье-оптики	10,2	4,9	6
9	Проверочная неделя №2	4		4
10	Спектральные приборы. Принципы голографии	15	6,5	7
11	Лазеры	7,8	2,9	5
12	Рассеяние света. Нелинейная оптика	10,6	4,3	6
13	Проверочная неделя №3	4		4
	Итоговая аттестация	2	1	1
Итого		108	45,1	62,9

4. Содержание программы

4.1. Учебно-тематический план программы

Таблица 2

Тема (модуль)	Тема урока	Кол-во часов	
		Аудит. занятия	Самост. работа

1. Электромагнитные волны	Электромагнитные волны	4,8	
	Тесты		0,5
	Дополнительные материалы		2
	Задачи		1,5
2. Элементы геометрической оптики	Элементы геометрической оптики	3,9	
	Тесты		0,5
	Дополнительные материалы		2
	Задачи		1,5
3. Дисперсия и поляризация волн	Дисперсия и поляризация волн	4,4	
	Тесты		0,5
	Дополнительные материалы		2
	Задачи		1,5
4. Проверочная неделя №1	Тест		1
	Задачи		3
5. Интерференция	Интерференция	5,3	
	Тесты		0,5
	Дополнительные материалы		2
	Задачи		1,5
6. Дифракция Френеля	Дифракция Френеля	3,1	
	Тесты		1
	Дополнительные материалы		1
	Задачи		1,9
7. Дифракция Фраунгофера	Дифракция Фраунгофера	4	
	Тесты		1
	Дополнительные материалы		2
	Задачи		3
8. Элементы Фурье-оптики	Элементы Фурье-оптики	4,9	
	Тесты		1
	Дополнительные материалы		2
	Задачи		3
9. Проверочная неделя №2	Тест		1
	Задачи		3
10. Спектральные приборы. Принципы голографии	Спектральные приборы. Принципы голографии	6,5	
	Тесты		1
	Дополнительные материалы		3
	Задачи		3
11. Лазеры	Лазеры	2,9	
	Тесты		1
	Дополнительные материалы		1
	Задачи		3
12. Рассеяние света.	Рассеяние света. Нелинейная оптика	4,3	

Нелинейная оптика	Тесты		1
	Дополнительные материалы		2
	Задачи		3
13. Проверочная неделя №3	Тест		1
	Задачи		3
Итоговая аттестация	Тест	1	1

4.2. Учебная программа по модулям

Таблица 3

№ п/п	Наименование темы (модуля)	Содержание обучения, наименование и тематика практических занятий (семинаров), самостоятельной работы, используемых образовательных технологий
1	Электромагнитные волны	Лекция Что будем изучать Самостоятельная работа Тест 1.1 Лекция Волновое уравнение. Монохроматическая волна Самостоятельная работа Тест 1.2 Лекция Скорость распространения электромагнитных волн Самостоятельная работа Тест 1.3 Лекция Комплексная амплитуда. Уравнение Гельмгольца Самостоятельная работа Тест 1.4 Лекция Поперечность электромагнитных волн Самостоятельная работа Тест 1.5 Лекция Законы отражения и преломления Самостоятельная работа Тест 1.6 Лекция Формулы Френеля и угол Брюстера Самостоятельная работа Тест 1.7 Дополнительные материалы Демонстрации Полное внутреннее отражение Угол Брюстера Практические занятия

		Задача 1.1 Задача 1.2 Задача 1.3 Задача 1.4 Задача 1.5 <i>Самостоятельная работа</i> Дополнительные материалы Домашнее задание Задачи
2	Элементы геометрической оптики	<i>Лекция</i> Принцип Ферма <i>Самостоятельная работа</i> Тест 2.1 <i>Лекция</i> Построение изображений <i>Самостоятельная работа</i> Тест 2.2 <i>Лекция</i> Геометрические аберрации <i>Самостоятельная работа</i> Тест 2.3 <i>Лекция</i> Применения геометрической оптики <i>Самостоятельная работа</i> Тест 2.4 Дополнительные материалы <i>Практические занятия</i> Задача 2.1 Задача 2.2 Задача 2.3 Задача 2.4 Задача 2.5 <i>Самостоятельная работа</i> Дополнительные материалы Домашнее задание Задачи
3	Дисперсия и поляризация волн	<i>Лекция</i> Распространение света в веществе <i>Самостоятельная работа</i> Тест 3.1 <i>Лекция</i> Волновой пакет. Фазовая и групповая скорости <i>Самостоятельная работа</i> Тест 3.2 <i>Лекция</i> Поляризация электромагнитных волн

		Самостоятельная работа Тест 3.3 Лекция Анизотропные среды Самостоятельная работа Тест 3.4 Дополнительные материалы Демонстрации Поляроиды и кристаллические пластинки Двойное лучепреломление Эффект Поккельса (музыка по лазерному лучу) Практические занятия Задача 3.1 Задача 3.2 Задача 3.3 Задача 3.4 Задача 3.5 Самостоятельная работа Дополнительные материалы Домашнее задание Задачи
4	Проверочная неделя №1	Самостоятельная работа Тест 4
5	Интерференция	Лекция Интерференция: общие сведения Самостоятельная работа Тест 5.1 Лекция Интерференция плоских и сферических волн. Ширина полос Самостоятельная работа Тест 5.2 Лекция Интерференционные схемы Самостоятельная работа Тест 5.3 Лекция Влияние амплитуды и поляризации волн Самостоятельная работа Тест 5.4 Лекция Временная когерентность Самостоятельная работа Тест 5.5 Лекция Пространственная когерентность Самостоятельная работа Тест 5.6

		Дополнительные материалы Демонстрации Интерференция в клине Интерферометр Жамена Кольца Ньютона Бипризма Френеля Практические занятия Задача 5.1 Задача 5.2 Задача 5.3 Задача 5.4 Задача 5.5 Задача 5.6 Самостоятельная работа Дополнительные материалы Домашнее задание Задачи
6	Дифракция Френеля	Лекции Понятие дифракции. Принцип Гюйгенса. Принцип Гюйгенса-Френеля Самостоятельная работа Тест 6.1 Лекции Дифракция Френеля на круглом отверстии. Зоны Френеля Самостоятельная работа Тест 6.2 Лекции Спираль Френеля. Зонные пластинки. Линза Френеля Самостоятельная работа Тест 6.3 Дополнительные материалы Демонстрации Интерференция и дифракция на поверхности воды Линза Френеля Дифракция Френеля. Пятно Пуассона Практические занятия Задача 6.1 Задача 6.2 Задача 6.3 Задача 6.4 Задача 6.5 Самостоятельная работа Дополнительные материалы Домашнее задание Задачи

7	Дифракция Фраунгофера	Лекция Постановка задачи о дифракции Самостоятельная работа Тест 7.1 Лекция Дифракция Фраунгофера Самостоятельная работа Тест 7.2 Лекция Дифракция Фраунгофера на щели и круглом отверстии Самостоятельная работа Тест 7.3 Лекция Дифракция Фраунгофера на дифракционной решетке Самостоятельная работа Тест 7.4 Лекция Поле в фокальной плоскости линзы Самостоятельная работа Тест 7.5 Лекция Разрешающая способность оптических систем Самостоятельная работа Тест 7.6 Лекция Дифракционные пределы разрешения оптических приборов Самостоятельная работа Тест 7.7 Дополнительные материалы Практические занятия Задача 7.1 Задача 7.2 Задача 7.3 Задача 7.4 Задача 7.5 Самостоятельная работа Дополнительные материалы Домашнее задание Задачи
8	Элементы Фурье-оптики	Лекция Спектральный метод решения задачи дифракции (метод Рэлея) Самостоятельная работа Тест 8.1 Лекция Соотношение неопределенностей Самостоятельная работа Тест 8.2

		Лекция Дифракция на периодических структурах. Эффект саморепродукции Самостоятельная работа Тест 8.3 Лекция Теория Аббе формирования оптического изображения, принцип двойной дифракции Самостоятельная работа Тест 8.4 Лекция Понятие о пространственной фильтрации Самостоятельная работа Тест 8.5 Лекция Методы наблюдения фазовых объектов (методы темного поля, фазового контраста) Самостоятельная работа Тест 8.6 Дополнительные материалы Демонстрации Опыты Аббе в белом свете Опыты Аббе в лазерном излучении Практические занятия Задача 8.1 Задача 8.2 Задача 8.3 Задача 8.4 Задача 8.5 Самостоятельная работа Дополнительные материалы Домашнее задание Задачи
9	Проверочная неделя №2	Самостоятельная работа Тест 9
10	Спектральные приборы. Принципы голографии	Лекция Спектры излучения и спектральные приборы Самостоятельная работа Тест 10.1 Лекция Дифракционная решетка Самостоятельная работа Тест 10.2 Лекция Метод Рэлея. Отражательная решетка Самостоятельная работа Тест 10.3

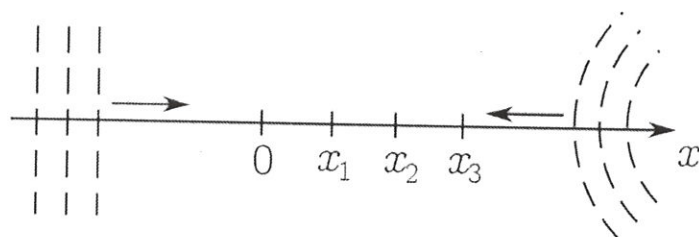
		<i>Лекция</i> Интерферометр Фабри-Перо <i>Самостоятельная работа</i> Тест 10.4 <i>Лекция</i> Принципы голографии <i>Самостоятельная работа</i> Тест 10.5 <i>Лекция</i> Дифракция на объёмных структурах <i>Самостоятельная работа</i> Тест 10.6 Дополнительные материалы <i>Демонстрации</i> Призма Дифракционные решетки в белом свете Дифракционные решетки в лазерном излучении Интерферометр Фабри-Перо Голограммы <i>Практические занятия</i> Задача 10.1 Задача 10.2 Задача 10.3 Задача 10.4 Задача 10.5 <i>Самостоятельная работа</i> Дополнительные материалы Домашнее задание Задачи
11	Лазеры	<i>Лекции</i> Общие сведения о лазерах. Принципы работы Условие достижения лазерной генерации Спектр (модовый состав) лазерного излучения Классификация и обзор современных лазеров <i>Самостоятельная работа</i> Тест 11 Дополнительные материалы <i>Практические занятия</i> Задача 11.1 Задача 11.2 Задача 11.3 Задача 11.4 Задача 11.5 <i>Самостоятельная работа</i> Дополнительные материалы

		Домашнее задание Задачи
12	Рассеяние света. Нелинейная оптика	Лекция Рэлеевское рассеяние света Самостоятельная работа Тест 12.1 Лекция Свойства рассеянного излучения Самостоятельная работа Тест 12.2 Лекция Нелинейная восприимчивость среды. Эффект самофокусировки Самостоятельная работа Тест 12.3 Лекция Нелинейные эффекты: генерация гармоник, оптическое выпрямление Самостоятельная работа Тест 12.4 Дополнительные материалы Демонстрации Рассеяние света в мутной среде Рассеяние света в частицах дыма Удвоение частоты Практические занятия Задача 12.1 Задача 12.2 Задача 12.3 Задача 12.4 Задача 12.5 Задача 12.6 Задача 12.7 Самостоятельная работа Дополнительные материалы Домашнее задание Задачи
13	Проверочная неделя №3	Самостоятельная работа Тест 13
	Итоговая аттестация	Практическое занятие: итоговое тестирование по материалам лекций Самостоятельная работа: подготовка к итоговому тестированию

Примеры заданий для организации самостоятельной работы слушателей

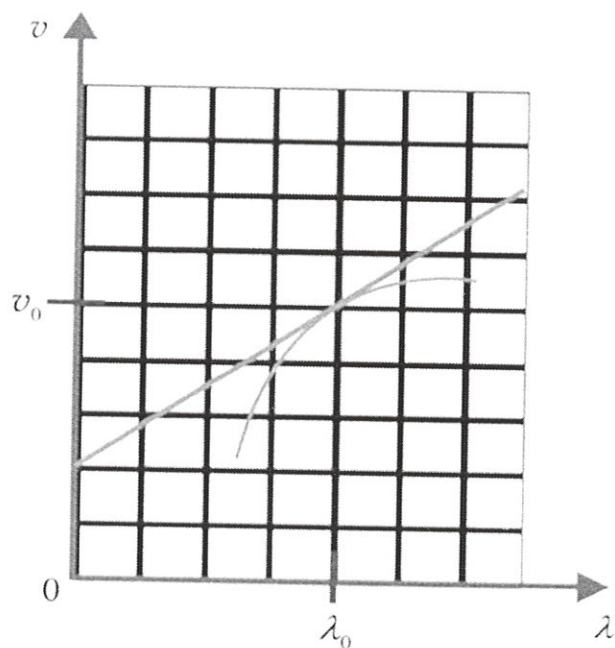
Задача 1. К наблюдателю, находящемуся в начале координат, распространяются две волны с одинаковыми частотами, бегущие по оси x : с одной стороны плоская, а с другой – сферическая (см. рис.). Источники волн находятся на оси x . Измерения показали, что амплитуда плоской волны в точке $x_2 = 20$ м и амплитуда сферической волны в точке $x_1 = 10$ м одинаковы и равны A . Также известно, что на расстоянии $x_3 = 30$ м от наблюдателя амплитуда сферической волны равна $3A$. Какое отношение амплитуд сферической и плоской волн $\frac{A_{\text{сф}}}{A_{\text{пл}}}$ зарегистрирует наблюдатель?

Ответ дайте в виде десятичной дроби. Дробную и целую часть отделите точкой (не запятой).



Задача 2. На столе под стеклянной пластинкой толщиной $H = 12$ мм расположен кусок газеты, которая рассматривается с помощью микроскопа. На сколько миллиметров нужно передвинуть тубус микроскопа, чтобы настроиться на буквы текста в отсутствии стеклянной пластинки? Показатель преломления стекла $n = 1.5$.

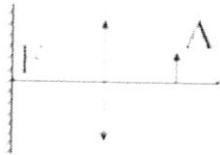
Задача 3.



На приведённом рисунке кривая изображает зависимость фазовой скорости волны v от длины волны λ . Прямая на рисунке – касательная к этой кривой в точке λ_0 , где фазовая скорость

равна значению v_0 . Найти значение групповой скорости для длины волны $\lambda = \lambda_0$. Ответ выразить в единицах v_0 . Дробная часть отделяется ТОЧКОЙ.

Задача 4.

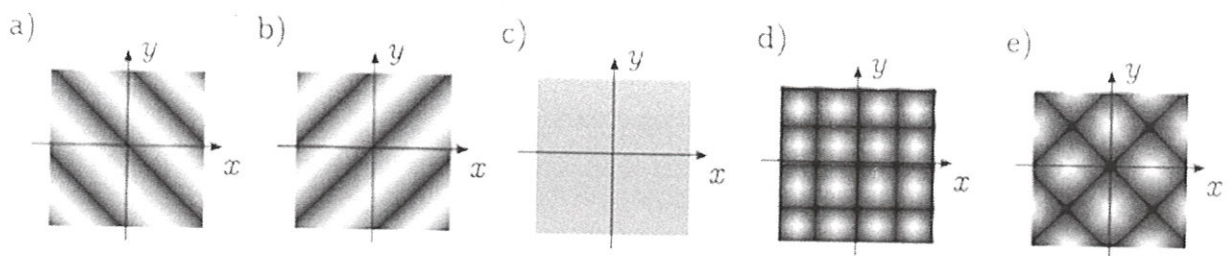


В фокальную плоскость тонкой собирающей линзы помещено плоское зеркало.

Предмет A расположен между фокусом и линзой на расстоянии $\frac{2F}{3}$ от фокуса линзы. Эта система создаёт действительное изображение предмета. Как изменится увеличение, если сместить предмет, уменьшив расстояние между линзой и предметом вдвое?

- 1) Увеличится в 2 раза
- 2) Уменьшится в 2 раза
- 3) До перемещения предмета речь идет об изображении в параллельных лучах, а поэтому определенно ответить нельзя.
- 4) Увеличится в 4 раза
- 5) Не изменится

Задача 5. 1) Две плоских монохроматических пучка света с длиной λ распространяются под прямым углом друг к другу. Один пучок распространяется в положительном направлении оси Ox , второй – в положительном направлении оси Oy . Выберите картину интенсивности, которая в результате запишется на объёмную фотопластинку, помещённую в области пересечения пучков.



2) При записи и восстановлении изображения для цветной голограммы по методу Денисюка используются

- a) три монохроматических лазера при записи, белый свет при восстановлении
- b) монохроматический лазер при записи, три монохроматических лазера при восстановлении
- c) монохроматический лазер при записи, белый свет при восстановлении
- d) белый свет при записи и восстановлении
- e) белый свет при записи и три монохроматических лазера при восстановлении

4.3. Список рекомендуемой литературы

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. Т. IV. – М.: Физматлит, 2018.
2. Кириченко Н.А. Принципы оптики: учебное пособие. – М.: МФТИ, 2016.
3. Кингсеп А.С., Локшин Г.Р., Ольхов О.А. Основы физики. Т. I – М.: Физматлит, 2007.
4. Ахманов С.А. Никитин С.Ю. Физическая оптика. – М.: Издательство МГУ, Наука, 2004.

5. Материально-технические условия реализации программы

Таблица 4

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
Система дистанционного обучения	Аудиторные занятия	Слушателю необходим компьютер, наличие доступа в сеть интернет.
Система дистанционного обучения	Самостоятельная работа	Слушателю необходим компьютер, наличие доступа в сеть интернет.
Система дистанционного обучения	Экзамен	Слушателю необходим компьютер, наличие доступа в сеть интернет.

6. Оценка качества освоения программ

Оценка качества освоения программы осуществляется в процессе промежуточной аттестации.

Формы и методы промежуточного контроля представлены в таблице 5.

Таблица 5

Наименование модулей	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Электромагнитные волны	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование, решение задач
Элементы геометрической оптики	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование, решение задач
Дисперсия и поляризация	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий,

волн		тестирование, решение задач
Проверочная неделя №1	Установленное количество выполненных заданий	Тестирование, решение задач
Интерференция	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование, решение задач
Дифракция Френеля	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование, решение задач
Дифракция Фраунгофера	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование, решение задач
Элементы Фурье-оптики	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование, решение задач
Проверочная неделя №2	Установленное количество выполненных заданий	Тестирование, решение задач
Спектральные приборы. Принципы голографии	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование, решение задач
Лазеры	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование, решение задач
Рассеяние света. Нелинейная оптика	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование, решение задач
Проверочная неделя №3	Установленное количество выполненных заданий	Тестирование, решение задач
Итоговая аттестация	Обобщение знаний по темам курса. Применение полученных знаний.	Тестирование

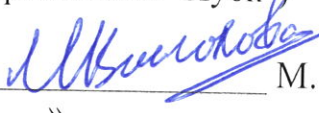
7. Составители программы

Зубцова Жанна Исхаковна, к.ф.-м.н., ведущий специалист Отдела сопровождения образовательных программ (Центр «Пуск»).

Согласовано
Ведущий специалист ОСОП


____ Ж. И. Зубцова
« ____ » _____ 2023 г.

Согласовано
Руководитель проектов (Центр
дополнительного, дополнительного
профессионального и онлайн-
образования "Пуск")


____ М. В. Выголова
« ____ » _____ 2023 г.