

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Проректор по учебной работе и  
довузовской подготовке**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Общая физика: оптика
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра общей физики
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 90 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Количество контрольных работ, заданий: 3

Программу составили:

Ю.Р. Аланаян, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

Г.Р. Локшин, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

П.В. Попов, канд. физ.-мат. наук, доцент

А.В. Гавриков, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

Ю.Н. Филатов, канд. физ.-мат. наук, доцент

С.В. Виноградов, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 06.03.2020

## Аннотация

В курсе рассматриваются ключевые понятия и методы геометрической и волновой оптики как части курса общей физики, читаемого в МФТИ. Сначала рассматриваются элементы геометрической оптики и фотометрии, после чего вводятся основные величины, понятия и постулаты волновой оптики. Излагается классическая теория дисперсии. Рассматривается интерференция монохроматических и квазимонохроматических волн. Обсуждаются понятия временной и пространственной когерентностей. Формулируются ограничения на допустимую разность хода, а также на допустимые размеры источника и апертуру интерференции в двухлучевых интерференционных схемах. Изучаются дифракции Френеля и Фраунгофера. Анализируются основные характеристики спектральных приборов на примере призмы, дифракционной решётки и интерферометра Фабри–Перо. Излагаются принципы фурье-оптики. Рассматривается метод Рэлея решения задачи дифракции (пространственное фурье-разложение). Изучается теория Аббе формирования оптического изображения (принцип двойной дифракции). Обсуждаются принципы голографии и элементы кристаллооптики в одноосных кристаллах. Рассматриваются эффекты Фарадея, Керра и Поккельса и их применение. Отдельные лекции посвящены теории рассеяния света и распространению электромагнитных волн в волноводах и световодах. В заключение рассматриваются нелинейные оптические явления: нелинейная поляризация среды, генерация второй гармоники, фазовый синхронизм, явление самофокусировки.

Курс содержит в себе обсуждение базовых физических процессов, разбор задач, демонстрации физических экспериментов, без которых невозможно глубокое понимание общей физики. Для успешного освоения онлайн-курса слушателю желательно знать курс общей физики: «Электричество и магнетизм» и владеть основами математического анализа, знать основы линейной алгебры и уметь оперировать с комплексными числами.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Освоение студентами базовых знаний в области оптических явлений для дальнейшего изучения других разделов физики и углубленного изучения фундаментальных основ оптики.

### Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний в области оптики
- формирование умений и навыков применять изученные теоретические законы и математические инструменты для решения различных физических задач
- формирование общезначимой культуры: умения выделять существенные физические явления и пренебрегать несущественными; умения проводить оценки физических величин; умения строить простейшие теоретические модели, описывающие физические процессы

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)

ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- о фундаментальные законы и понятия оптики, а также границы их применимости;
- о принцип Ферма и законы геометрической оптики;
- о волновое уравнение, плоские и сферические волны, принцип суперпозиции и интерференция монохроматических волн;
- о временная и пространственная когерентность источника;
- о принцип Гюйгенса–Френеля, дифракция Френеля;
- о дифракция Фраунгофера на щели;
- о спектральные приборы и их основные характеристики;
- о принципы фурье-оптики, пространственное фурье-разложение, эффект саморепродукции;
- о теория Аббе формирования оптического изображения, принцип двойной дифракции;
- о принципы голографии, условие Брэгга–Вульфа.
- о дисперсия света, фазовая и групповая скорости, классическая теория дисперсии;
- о поляризация света, естественный свет, явление Брюстера;
- о дихроизм, поляроиды, закон Малюса;
- о двойное лучепреломление в одноосных кристаллах, интерференционные явления в кристаллических пластинках, эффект Фарадея и эффект Керра.
- о нелинейные оптические явления, нелинейная поляризация среды, генерация второй гармоники (удвоение частоты), фазовый синхронизм, самофокусировка.

уметь:

- о применять изученные общие физические законы для решения конкретных задач по оптике;
- о применять законы геометрической оптики при построении изображений в оптических системах;
- о решать уравнения Гельмгольца для случаев плоских и сферических волн;
- о использовать понятие о зонах Френеля и спирали Френеля при решении задач дифракции на экране с осевой симметрией
- о использовать метод Рэлея решения задачи дифракции: волновое поле как суперпозиция плоских волн разных направлений (пространственное фурье-разложение);
- о анализировать физические задачи, выделяя существенные и несущественные аспекты явления, и на основе проведенного анализа строить упрощённые теоретические модели физических явлений;
- о применять различные математические инструменты решения задач исходя из сформулированных физических законов, и проводить необходимые аналитические и численные расчёты.

владеть:

- о основными методами решения задач оптики;
- о основными математическими инструментами, характерными для задач оптики.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

		Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.
--	--	---

№	Тема (раздел) дисциплины	Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Геометрическая оптика и элементы фотометрии.	2	2		6
2	Интерференция волн.	4	4		12
3	Дифракция волн.	4	4		12
4	Разрешающая способность оптических инструментов.	4	4		12
5	Элементы фурье-оптики.	4	4		12
6	Элементы голографии.	4	4		12
7	Дисперсия. Фазовая и групповая скорости.	2	2		6
8	Поляризация света. Элементы кристаллооптики.	2	2		6
9	Рассеяние света.	2	2		6
10	Нелинейные оптические явления.	2	2		6
Итого часов		30	30		90
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 4 (Весенний)

##### 1. Геометрическая оптика и элементы фотометрии.

Принцип Ферма и законы геометрической оптики. Полное внутреннее отражение. Оптические инструменты: телескоп, микроскоп. Элементы фотометрии. Яркость и освещённость изображения.

##### 2. Интерференция волн.

Волновое уравнение, монохроматические волны, комплексная амплитуда, уравнение Гельмгольца, плоские и сферические волны. Принцип суперпозиции и интерференция монохроматических волн. Видность полос, ширина полосы. Статистическая природа излучения квазимонохроматической волны. Временная когерентность, функция временной когерентности, связь со спектральной интенсивностью (теорема Винера–Хинчина). Ограничение на допустимую разность хода в двухлучевых интерференционных схемах, соотношение неопределенностей. Интерференция при использовании протяженных источников. Пространственная когерентность, функция пространственной когерентности, связь с распределением интенсивности излучения по источнику  $I(x)$  (теорема Ван Циттерта–Цернике). Ограничения на допустимые размеры источника и апертуру интерференции в двухлучевых схемах. Лазеры как источники когерентного излучения.

##### 3. Дифракция волн.

Дифракция волн. Принцип Гюйгенса–Френеля. Дифракция на тонком экране. Граничные условия Кирхгофа. Волновой параметр. Дифракция Френеля. Задачи с осевой симметрией, зоны Френеля, спираль Френеля. Зонные пластинки, линза. Дифракция на дополнительном экране, пятно Пуассона. Дифракция Фраунгофера. Световое поле в зоне Фраунгофера как преобразование Фурье граничного поля. Дифракция Фраунгофера на щели, дифракционная расходимость. Дифракционный предел разрешения телескопа и микроскопа. Поле в фокальной плоскости линзы.

#### 4. Разрешающая способность оптических инструментов.

Спектральные приборы: призма, дифракционная решётка, интерферометр Фабри–Перо. Характеристики спектральных приборов: разрешающая способность, область дисперсии, угловая дисперсия. Теория Аббе формирования оптического изображения, принцип двойной дифракции. Полоса пропускания оптической системы, связь с разрешающей способностью. Разрешающая способность при когерентном и некогерентном освещении.

#### 5. Элементы фурье-оптики.

Принципы фурье-оптики. Метод Рэлея решения задачи дифракции: волновое поле как суперпозиция плоских волн разных направлений (пространственное фурье-разложение), соотношение неопределённостей. Дифракция Френеля на периодических структурах (эффект саморепродукции). Область геометрической оптики.

#### 6. Элементы голографии.

Принципы голографии. Голограмма Габора. Голограмма с наклонным опорным пучком. Разрешающая способность голограммы. Объёмная голограмма, объёмная решётка в регистрирующей среде, условие Брэгга–Вульфа.

#### 7. Дисперсия. Фазовая и групповая скорости.

Дисперсия света, фазовая и групповая скорости, формула Рэлея. Классическая теория дисперсии. Комплексный показатель преломления и поглощения света в среде. Затухающие волны, закон Бугера. Нормальная и аномальная дисперсии. Радиоволны в ионосфере и дальняя радиосвязь.

#### 8. Поляризация света. Элементы кристаллооптики.

Поляризация света. Естественный свет. Явление Брюстера. Дихроизм, поляроиды, закон Малюса. Двойное лучепреломление в одноосных кристаллах. Интерференционные явления в кристаллических пластинках. Понятие об искусственной анизотропии. Эффект Фарадея и эффект Керра.

#### 9. Рассеяние света.

Рэлеевское рассеяние (рассеяние на флуктуациях плотности). Эффективное сечение рассеяния. Поляризация рассеянного света

#### 10. Нелинейные оптические явления.

Нелинейная поляризация среды. Генерация второй гармоники (удвоение частоты), фазовый синхронизм. Самофокусировка.

### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

- Лекционная аудитория, оснащённая мультимедийным проектором и экраном
- Оборудование для лекционных демонстраций
- Учебные аудитории, оснащённые доской
- Доступ к библиотекам учебной технической литературы, в том числе электронным, необходимый для осуществления самостоятельной работы обучающихся

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 4 : Оптика : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— / 2-е изд., испр. — М. : Наука, 1985 .— 752 с.
2. Основы физики. Курс общей физики [Текст] : в 2 т. Т. 1 : Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика : учебник для вузов / А. С. Кингсеп, Г. Р. Локшин, О. А. Ольхов .— М. : Физматлит, 2001 .— 560 с.
3. Оптика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Е. И. Бутиков ; под ред. Н. И. Калитеевского .— М. : Высшая школа, 1986 .— 512 с.
4. Лабораторный практикум по общей физике [Текст] : в 3 т. Т. 2 : Оптика : учеб. пособие для вузов / под ред. А. В. Максимычева ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2014 .— 446 с.
5. Калашников Н.П., Смондырев М.А./Основы физики в 2-х томах М.-Лаборатория знаний, 2017

#### Дополнительная литература

1. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику [Текст] : учеб. пособие для вузов / Г. С. Горелик ; под ред. С. М. Рытова .— 3-е изд. — М. : Физматлит, 2007 .— 656 с.
2. Оптика [Текст] : учеб. пособие для физ. спец. вузов / Г. С. Ландсберг .— 6-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2003 , 2006, 2010 .— 848 с.
3. Основы оптики [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / М. Борн, Э. Вольф ; пер. с англ. С. Н. Бреуса, А. И. Головашкина, А. А. Шубина ; под ред. Г. П. Мотулевич .— М. : Наука, 1970 .— 855 с.
4. Методы решения задач в общем курсе физики. Оптика [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. П. Корявов .— М. : Студент, 2012 .— 344 с.
5. Волны. Дифракция. Пространственная фильтрация [Текст] : учеб. пособие для вузов / Г. Р. Локшин ; М-во образования и науки РФ, Фед. агентство по образованию, МФТИ .— М. : МФТИ, 2006 .— 160с.

#### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. [http://mipt.ru/education/chair/physics/S\\_IV/Method\\_4/](http://mipt.ru/education/chair/physics/S_IV/Method_4/)— методический раздел сайта кафедры Общей физики
2. <http://lib.mipt.ru/catalogue/1412/?t=750> – электронная библиотека МФТИ, раздел «Общая физика»

#### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

Литература, рекомендуемая к курсу, доступна в электронном виде (см. п.[1,2] перечня ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)), так что студенты могут читать учебники прямо со своих планшетов.

#### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий курс «Общая физика: Оптика», должен не только изучить общие физические законы и понятия, но научиться применять их на практике.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях.
- подготовку к контрольной работе, сдаче заданий, экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач. При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения и проводить все необходимые вычисления, доводя задачу до конечного ответа. Задача считается решённой, если она содержит обоснованное решение: ссылки на применяемые физические законы и корректные выкладки, а также правильный численный ответ (если в задаче есть числовые данные).

При подготовке к практическим занятиям необходимо ознакомиться с основными понятиями и законами, которыми будет посвящено занятие, и решить задачи, предусмотренные для подготовки по теме семинара.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра общей физики
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Экзамен

**Разработчики:**

Ю.Р. Аланакян, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор  
Г.Р. Локшин, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор  
П.В. Попов, канд. физ.-мат. наук, доцент  
А.В. Гавриков, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент  
Ю.Н. Филатов, канд. физ.-мат. наук, доцент  
С.В. Виноградов, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Общая физика: оптика» обучающийся должен:

### знать:

- о фундаментальные законы и понятия оптики, а также границы их применимости;
- о принцип Ферма и законы геометрической оптики;
- о волновое уравнение, плоские и сферические волны, принцип суперпозиции и интерференция монохроматических волн;
- о временная и пространственная когерентность источника;
- о принцип Гюйгенса–Френеля, дифракция Френеля;
- о дифракция Фраунгофера на щели;
- о спектральные приборы и их основные характеристики;
- о принципы фурье-оптики, пространственное фурье-разложение, эффект саморепродукции;
- о теория Аббе формирования оптического изображения, принцип двойной дифракции;
- о принципы голографии, условие Брэгга–Вульфа.
- о дисперсия света, фазовая и групповая скорости, классическая теория дисперсии;
- о поляризация света, естественный свет, явление Брюстера;
- о дихроизм, поляроиды, закон Малюса;
- о двойное лучепреломление в одноосных кристаллах, интерференционные явления в кристаллических пластинках, эффект Фарадея и эффект Керра.
- о нелинейные оптические явления, нелинейная поляризация среды, генерация второй гармоники (удвоение частоты), фазовый синхронизм, самофокусировка.

### уметь:

- о применять изученные общие физические законы для решения конкретных задач по оптике;
- о применять законы геометрической оптики при построении изображений в оптических системах;
- о решать уравнения Гельмгольца для случаев плоских и сферических волн;
- о использовать понятие о зонах Френеля и спирали Френеля при решении задач дифракции на экране с осевой симметрией
- о использовать метод Рэлея решения задачи дифракции: волновое поле как суперпозиция плоских волн разных направлений (пространственное фурье-разложение);
- о анализировать физические задачи, выделяя существенные и несущественные аспекты явления, и на основе проведённого анализа строить упрощённые теоретические модели физических явлений;
- о применять различные математические инструменты решения задач исходя из сформулированных физических законов, и проводить необходимые аналитические и численные расчёты.

**владеть:**

- о основными методами решения задач оптики;
- о основными математическими инструментами, характерными для задач оптики.

**3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

### **3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Общая физика: Оптика» осуществляется в форме экзамена. Экзамен состоит из двух частей: проводится в письменной и устной форме.

На письменной части экзамена студенту предлагается решить 5 задач. Все предлагаемые задачи представляют собой оригинальные авторские задачи, специально подготовленные для экзамена.

Устная часть экзамена проходит по билетам. В каждом билете содержится теоретический вопрос из приведенного ниже списка экзаменационных вопросов. Кроме того, студенту предлагается изложить подготовленный заранее «вопрос по выбору», которым, может быть, как один из пунктов приведённого ниже списка, так и любой вопрос, затрагиваемый в изучаемом курсе или непосредственно связанный с ним. В качестве вопроса по выбору могут быть изложены результаты проделанной студентом лабораторной работы.

Список вопросов устного экзамена:

1. Волновое уравнение. Монохроматические волны. Комплексная амплитуда. Уравнение Гельмгольца.
2. Монохроматические волны. Комплексная амплитуда. Уравнение плоской и сферической волн. Принцип суперпозиции, интерференция.
3. Интерференция монохроматических волн. Интерференция плоской и сферической волн. Ширина интерференционных полос. Видность полос.
4. Влияние немонохроматичности света на видность интерференционных полос. Функция временной когерентности. Связь времени когерентности с шириной спектра. Теорема Винера-Хинчина. Соотношение неопределённостей.
5. Видность интерференционных полос и её связь со степенью когерентности при использовании квазимонохроматических источников света. Оценка максимального числа наблюдаемых полос. Максимально допустимая разность хода в интерференционных опытах.
6. Апертура интерференционной схемы и влияние размеров источника на видность интерференционных полос. Функция пространственной когерентности. Радиус пространственной когерентности.
7. Связь радиуса пространственной когерентности с угловым размером протяжённого источника. Теорема Ван-Циттерта-Цернике. Видность интерференционных полос при использовании протяжённых источников света. Звездный интерферометр Майкельсона.
8. Максимально допустимая разность хода волн в интерференционных опытах и её связь со временем когерентности.
9. Радиус пространственной когерентности и ограничение на допустимые размеры источника в интерференционных опытах.
10. Принцип Гюйгенса-Френеля. Количественная формулировка принципа Гюйгенса-Френеля. Волновой параметр как критерий подобия дифракционных явлений.
11. Дифракция Френеля на круглом отверстии. Спираль Френеля. Пятно Пуассона и условия его наблюдения.
12. Зонная пластинка Френеля. Интенсивность света в фокусе зонной пластинки. Идеальная линза. Фокусировка света.
13. Волновой параметр. Условие наблюдения дифракции Френеля и Фраунгофера. Критерий геометрической оптики.

14. Дифракция Фраунгофера. Связь с преобразованием Фурье. Дифракция Фраунгофера на щели и круглом отверстии. Поле в фокальной плоскости линзы.
15. Дифракция Фраунгофера в оптических приборах. Разрешающая способность телескопа и микроскопа. Критерий Релея.
16. Дифракционная решетка как спектральный прибор. Разрешающая способность и область дисперсии. Разрешающая способность призмы.
17. Дифракция Фраунгофера на решетке: положение и интенсивность главных максимумов, их ширина и максимальный порядок.
18. Интерферометр Фабри-Перо как оптический резонатор. Разрешающая способность интерферометра, связь с добротностью.
19. Принципы Фурье-оптики: представление произвольной волны в виде суперпозиции плоских волн разных направлений. Пространственное преобразование Фурье. Пространственная частота. Метод Релея в задачах дифракции.
20. Дифракция Френеля на периодических структурах. Эффект саморепродукции.
21. Теория Аббе формирования оптического изображения. Фурье-плоскость оптической системы.
22. Принципы пространственной фильтрации. Методы наблюдения фазовых структур.
23. Поле в фокальной плоскости линзы. Связь с преобразованием Фурье.
24. Дифракция на амплитудной и фазовой синусоидальной решетке.
25. Методы наблюдения прозрачных (фазовых) структур. Методы темного поля и фазового контраста.
26. Голография. Голограмма точечного источника (голограмма Габора). Разрешающая способность голограммы. Голограмма с наклонным опорным пучком.
27. Объемная голограмма. Восстановление изображения объемной голограммой, условие Брегга-Вульфа.
28. Электромагнитные волны на границе раздела двух диэлектриков. Явление Брюстера. Зависимость энергетических коэффициентов отражения  $R_{\perp}$  и  $R_{\parallel}$  от угла падения (качественно).
29. Способы получения линейно-поляризованного света. Дихроизм. Поляроиды. Закон Малюса.
30. Электромагнитные волны в одноосных кристаллах. Обыкновенная и необыкновенная волны. Кристаллические пластинки  $\lambda/2$  и  $\gamma/4$ .
31. Двулучепреломление. Интерференция поляризованных волн.
32. Нелинейная поляризация среды. Генерация второй гармоники. Условие фазового синхронизма. Оптическое выпрямление.
33. Нелинейные оптические эффекты. Самофокусировка. Пороговая мощность.
34. Дисперсия. Фазовая и групповая скорости. Формула Релея. Классическая теория дисперсии. Аномальная дисперсия. Дисперсия в ионосфере и металлах.

Примеры простых задач, решение которых необходимо для получения удовлетворительной оценки:

- Найти угол падения света на границу раздела вода/масло, при котором возникает полное отражение. Коэффициент преломления воды  $n_{\text{в}} = 4/3$ , масла  $n_{\text{м}} = 1.5$ . Из какой среды должен падать свет?
- К тонкой рассеивающей линзе с фокусным расстоянием  $f = -120$  см, прислонен тонкий сегмент стеклянной сферы, имеющей радиус  $R = 40$  см. Найти фокусное

расстояние получившейся составной линзы, если коэффициент преломления стекла  $n = 1.5$ .

- Найти суммарную интенсивность двух когерентных, одинаково поляризованных пучков света, если интенсивность первого равна  $I_0$ , второго —  $4I_0$ , а разность хода между ними составляет  $\lambda / 6$ .
- Найти расстояние от щелей до экрана в опыте Юнга, если ширина интерференционных полос равна  $\Delta x = 1$  мм, интервал между щелями  $d = 1$  мм, используется мономатрический свет с  $\lambda = 500$  нм.
- При каких расстояниях между щелями в опыте Юнга можно увидеть интерференцию на экране, если угловой размер источника равен  $10^{-4}$  рад. Свет считать мономатрическим с  $\lambda = 500$  нм.
- Найти количество полос которые можно наблюдать в интерференционном опыте, при использовании дуплета натрия (длины волн: 5890 и 5896 ангстрем) в качестве источника света.
- Найти радиус третьего светлого кольца Ньютона, для света с  $\lambda = 500$  нм, при использовании плосковыпуклой линзы с радиусом кривизны  $R = 1$  м.
- Отверстие диаметром  $D = 1$  мм освещается плоскопараллельным светом с  $\lambda = 500$  нм, создавая на экране, на расстоянии  $L = 0.1$  м, дифракционное пятно. Определить число открытых зон Френеля.
- Отверстие с приложенной к нему линзой освещается пучком света с интенсивностью  $I_0$ . В отверстие помещается две с половиной зоны Френеля, если смотреть из фокуса. Найти интенсивность света в нем.
- Щель шириной  $d = 0.1$  мм освещается параллельным светом с  $\lambda = 500$  нм. К ней приложена линза с фокусным расстоянием  $f = 30$  см. Найти ширину наиболее яркой полосы на экране, расположенном в фокальной плоскости.
- Отверстие радиуса  $R$  освещено пучком света с длиной волны  $\lambda$ . На каком расстоянии  $L$  должна находиться точка наблюдения, что бы дифракцию можно было считать Фраунгоферовой? (ответ предоставить в виде « $L$  много больше (меньше) такого-то характерного размера»)
- При повороте кристалла во вращающемся рентгеновском спектрографе, отраженный максимум в первый раз возникает при угле скольжения  $30^\circ$ . Постоянная решетки кристалла равна  $d = 0.2$  нм. Найти длину волны изучаемого рентгеновского излучения.

#### 4. Критерии оценивания

По результатам решения задач письменной части экзамена за каждую задачу выставляется от 0 до 3 баллов согласно следующим критериям:

3 балла: Задача решена полностью верно (т. е. приведены правильное обоснованное решение и даны ответы на все вопросы задачи). Возможно наличие мелких недочётов (описки, несущественные арифметические ошибки).

2 балла: Задача решена, ход решения задачи в целом верен, но есть существенные недочёты (ошибки в выкладках, абсурдный ответ и т.п.).

1 балл: Задача не решена, но все основные физические законы, необходимые для решения, сформулированы правильно.

0 баллов: Задача не решена или решена неверно (основные законы записаны с ошибками, либо не полностью, подход к решению задачи принципиально неверен или решение задачи не соответствует условию).

Полученные баллы суммируются и выставляется оценка за письменную часть экзамена по следующей схеме

Оценка	Баллы	Сумма баллов
отлично	10	15
	9	13-14
	8	12
хорошо	7	11
	6	9-10
	5	8
удовлетворительно	4	6-7
	3	5
неудовлетворительно	2	2-4
	1	0-1

Оценка за письменную часть экзамена определяет максимальную итоговую оценку за экзамен. В исключительных случаях, если на устной части экзамена студент демонстрирует превосходные теоретические знания и уровень понимания предмета, итоговая оценка может быть повышена, но не более, чем на 2 балла (по 10-балльной шкале).

На устном экзамене преподаватель оценивает ответ студента в целом и выставляет оценку согласно приведённым ниже критериям и изложенным выше замечаниям касательно письменной части экзамена:

Оценка **«отлично (10)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и за её пределами, а также умение уверенно применять их на практике при решении сложных нестандартных задач.

Оценка **«отлично (9)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач.

Оценка **«отлично (8)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач, однако допустившему некоторые неточности при ответе.

Оценка **«хорошо (7)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и уверенное понимание материала учебной программы и умение свободно применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка **«хорошо (6)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка **«хорошо (5)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и понимание материала учебной программы и умение применять физические законы на

практике при решении типовых задач, однако допустил при ответе ряд грубых неточностей.

Оценка «**удовлетворительно (4)**» выставляется студенту, показавшему фрагментарный характер знаний, допускавшему неточности в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка «**удовлетворительно (3)**» выставляется студенту, показавшему сильно фрагментарный характер знаний, допускавшему грубые ошибки в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка «**неудовлетворительно (2)**» или «**неудовлетворительно (1)**» выставляется студенту, который не знает значительную часть основного содержания программы, систематически допускает грубые ошибки при формулировании основных физических законов или не способен корректно применять физические законы даже для решения простых задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

### **Порядок проведения письменного экзамена.**

Время проведения письменной части экзамена составляет 4 астрономических часа. На экзамене предлагаются для решения 5 оригинальных задач. Темы соответствуют темам семинарских занятий. Задача считается решённой, если она содержит обоснованное решение: ссылки на применяемые физические законы и корректные выкладки, а также правильный численный ответ (если в задаче есть числовые данные). На экзамене разрешается пользоваться любыми записями и учебными пособиями в бумажном виде. Категорически запрещается включать любые устройства, которые могут служить средствами связи – ноутбуки, планшеты, телефоны и т.п. Нарушители удаляются с экзамена с оценкой «неудовлетворительно». Разрешается пользоваться калькуляторами. Запрещается пользоваться калькуляторами в мобильных телефонах, ноутбуках и т.п.

### **Порядок проведения устного экзамена.**

Экзамен проходит в традиционной форме беседы преподавателя со студентом по теме экзаменационного билета.

На подготовку к ответу по билету студенту даётся от 30 до 45 минут. В течение экзамена студенту не разрешается пользоваться вычислительной техникой, литературой, заранее подготовленными собственными записями и другими материалами, относящимися к предмету, кроме экзаменационной программы курса.

В процессе ответа по билету экзаменатор может задавать уточняющие вопросы. После ответа по билету экзаменатор вправе задавать студенту любые дополнительные вопросы по программе курса.

В совокупности опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

БИЛЕТ №1

1. Вопрос по выбору.
2. Волновое уравнение. Монохроматические волны. Комплексная амплитуда. Уравнение Гельмгольца.

БИЛЕТ №2

1. Вопрос по выбору.
2. Монохроматические волны. Комплексная амплитуда. Уравнение плоской и сферической волн. Принцип суперпозиции, интерференция.

БИЛЕТ №3

1. Вопрос по выбору.
2. Интерференция монохроматических волн. Интерференция плоской и сферической волн. Ширина интерференционных полос. Видность полос.

БИЛЕТ №4

1. Вопрос по выбору.
  2. Влияние немонохроматичности света на видность интерференционных полос.
- Функция временной когерентности. Связь времени когерентности с шириной спектра.  
Теорема Винера-Хинчина. Соотношение неопределённости.

БИЛЕТ №5

1. Вопрос по выбору.
2. Видность интерференционных полос и ее связь со степенью когерентности при использовании квазимонохроматических источников света. Оценка максимального числа наблюдаемых полос. Максимально допустимая разность хода в интерференционных опытах.