

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

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Проректор по учебной работе**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Общая физика: лабораторный практикум. Часть 4
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Управление инновациями в бизнесе
	Физтех-школа бизнеса высоких технологий
	кафедра общей физики
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 40 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 40 час.

Самостоятельная работа: 50 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

В.В. Усков, доцент

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

И.С. Юдин, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 12.05.2022

## Аннотация

В лабораторном практикуме по общей физике студенты выполняют лабораторные работы по разделу курса общей физики: «Оптика». В лаборатории кафедры представлено достаточное количество установок по каждому разделу курса. Лабораторные установки группируются по темам раздела. Темы лабораторных работ организованы в маршруты, по которым проводится выполнение работ студентами. Для каждой лабораторной работы подготовлены специальные описания: описание темы работы, описание эксперимента, проводимого в лабораторной работе и техническое описание лабораторной установки. В лабораторном практикуме рассматриваются ключевые понятия экспериментальной физики, студенты обучаются элементарным экспериментальным методам, а также навыкам работы с оборудованием.

Практическая работа в лаборатории позволяет студентам разобраться в базовых физических вопросах, без которых невозможно глубокое понимание общей физики. Для успешного освоения лабораторного практикума слушателю необходимо владеть базовыми навыками проведения эксперимента, полученными в школе, владеть основами математического анализа, знать основы линейной алгебры, теории вероятностей, а также применять знания, полученные на лекционных и семинарских занятиях по общей физике.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

формирование базовых знаний по физике и умения работать в лаборатории для дальнейшего использования в других дисциплинах естественнонаучного содержания; формирование культуры эксперимента, исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

#### Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний по физике;
- формирование культуры эксперимента: умение работать в лаборатории, знать основные методы эксперимента, устанавливать логические связи между понятиями;
- формирование умений и навыков применять полученные знания для постановки эксперимента, самостоятельного анализа полученных результатов.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- методику проведения эксперимента;
- методику обработки полученных результатов.

уметь:

- работать с современным измерительным оборудованием;
- правильно обрабатывать полученные экспериментальные данные.

владеть:

- навыками работы с современным измерительным оборудованием;
- основными математическими инструментами, характерными для задач механики.

#### 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

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Геометрическая оптика			6	8
2	Изучение интерференции света			6	8
3	Дифракция света.			6	8
4	Опыты Франка-Герца и Рамзауэра			6	8
5	Изучение спектров йода и атомов водорода			6	8
6	Исследование энергетического спектра бета-частиц			6	8
7	Защита работ			4	2
Итого часов				40	50
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 4 (Весенний)

###### 1. Геометрическая оптика

Центрированные оптические системы. Фокальные и главные точки, фокусные расстояния, оптическая сила, увеличение оптической системы. Построение изображений. Действительные и мнимые изображения и предметы. Формула тонкой линзы. Принципы работы лупы, телескопа и микроскопа.

###### 2. Изучение интерференции света

Интерференционное измерение кривизны стеклянной поверхности с помощью колец Ньютона. Интерференционные измерения показателей преломления газов с помощью интерферометров Жамена и Релея.

###### 3. Дифракция света.

Исследование явления дифракции Френеля и Фраунгофера на щели. Изучение влияния дифракции на разрешающую способность оптических инструментов.

###### 4. Опыты Франка-Герца и Рамзауэра

Изучение дифракции света на синусоидальной акустической решётке и наблюдение фазовой решётки методом тёмного поля.

## 5. Изучение спектров йода и атомов водорода

Определение дифракционного предела разрешения объектива микроскопа методом Аббе. Определение периода решёток по их пространственному спектру, по изображению, увеличенному с помощью модели микроскопа, а также, по оценке разрешающей способности микроскопа. Пространственная фильтрация и мультиплицирование.

## 6. Исследование энергетического спектра бета-частиц

Исследование интерференции рассеянного света, прошедшего кристалл. Наблюдение изменения характера поляризации света при наложении на кристалл электрического поля.

## 7. Защита работ

Проверяется знание студентами основ обработки результатов экспериментов. Защита работ.

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

Семестр: 4 (Весенний) Оптика

Лаборатория 312 Г.К.

4.2.1 Кольца Ньютона 4 установки

4.2.2 Интерферометр Жамена 2 установки.

4.2.3 Интерферометр Релея 3 установки

4.2.4 Интерферометр Майкельсона 1 установка.

4.3.2 Дифракция на ультразвуковых волнах, А-установка с вертикальной щелью. 2 установки.

4.3.2 Дифракция на ультразвуковых волнах, Б-установка с горизонтальной щелью. 3 установки

4.8.1 Дифракционные решетки А- амплитудные решетки 3 установки.

Дифракционные решетки Б-Эшелет 2 установки.

4.8.2 Призма (гониометр) 2 установки.

4.8.3 Интерферометр Фабри-Перо 2 установки.

4.7.2 Туннелирование на СВЧ. 1 установка.

Лаборатория 313 Г.К.

4.1.1 Изучение центрированных оптических систем 3 установки.

4.1.2 Моделирование оптических приборов и определение их увеличения - 3 установки.

4.1.3 Рефрактометр АББЕ 4 установки.

Лаборатория 316 Г.К.

4.3.1 Дифракция света 8 установок.

4.2.5 Когерентность света 2 установки

Лаборатория 318 Г.К.

4.4.1 Двойное лучепреломление 4 установки.

4.4.2 Эффект Покейсона 4 установки.

4.4.3 Поляризация 8 установок.

4.4.4 Вращение плоскости поляризации 1 установка.

Лаборатория 322 Г.К.

4.5.1 Изучение лазера 1 установка

4.5.2 Интерференция лазерного излучения 2 установки.

4.5.3 Сканирующий интерферометр 1 установка.

4.6.1 Разрешающая способность микроскопа (метод Аббе) 4 установки.

4.6.2 Преобразование Фурье в оптике. 2 установки.

4.6.3 Голограмма 2 установки.

4.6.4 Саморепродукция 2 установки.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Основы физики [Текст] : Курс общей физики : в 2 т. Т. 1. Механика, электричество и магнетизм. Колебания и волны, волновая оптика / А. С. Кингсеп, Г. Р. Локшин, О. А. Ольхов ; под ред. А. С. Кингсеп. — 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2007. — 704 с.
2. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 3, Ч. 1 : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин. — 3-е изд., испр. и доп. — М. : Наука, 1996. — 320 с.
3. Лабораторный практикум по общей физике [Текст] : в 3 т. Т. 2 : Оптика : учеб. пособие для вузов / под ред. А. В. Максимова ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т). — М. : МФТИ, 2014. — 446 с.

Рекомендованная литература для самостоятельного изучения.

1. Калашников Н.П., Смондырев М.А./Основы физики в 2-х томах М.-Лаборатория знаний, 2017

#### Дополнительная литература

1. Методы решения задач в общем курсе физики. Механика [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. П. Корявов. — 2-е изд., испр. — М. : Студент, 2012. — 382 с.
2. 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.
3. Оптика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Е. И. Бутиков ; под ред. Н. И. Калитеевского. — М. : Высшая школа, 1986. — 512 с.
4. Оптика [Текст] : учеб. пособие для физ. спец. вузов / Г. С. Ландсберг. — 6-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2003, 2006, 2010. — 848 с.
5. 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.
6. Физическая оптика [Текст] : учебник для вузов / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин. — М. : Изд-во МГУ, 2004. — 656 с.

Рекомендованная литература для самостоятельного изучения.

1. 000000575. Введение в когерентную оптику и голографию [Текст] : учебно-метод. пособие по курсу : Общая физика / сост. С. М. Козел [и др.] ; М-во образования РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т), Каф. общей физики. — М. : МФТИ, 2000. — 42 с.

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

1. <http://mipt.ru/education/chair/physics/index.php> Сайт кафедры общей физики
2. <http://www.physics.ru/> образовательный сайт элементарными сведениями по физике.
3. <http://www.edu.ru/> федеральный портал «Российское образование».
4. <http://benran.ru/> библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
5. <http://www.i-exam.ru/> единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.

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

На данных компьютерах используются ОС MSWindows, FreeDOS, программа MathCAD, а также программы, разработанные программистами учебно-методического центра кафедры.

В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathcad, Scilab, Origin и др.

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

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 учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;

- подготовку к дифференцированному зачёту.

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. Значительно облегчить решение задачи может хорошо выполненный чертеж, если он соответствует условию задачи (прямой угол нарисован прямым, равнобедренный треугольник - равнобедренным и т. д.). При подготовке к практическим занятиям необходимо повторять ранее изученные основные определения, формулировки теорем. В начале занятия, как правило, проводится короткий (10-15 минут) опрос по материалу прошедших занятий в устной или письменной форме. Обычно придерживаются следующей схемы: изучение материала лекции по конспекту в тот же день, когда была прослушана лекция (10-15 минут); повторение материала накануне следующей лекции (10-15 минут), проработка учебного материала по конспектам лекций, учебной и научной литературе, подготовка ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения (1 час неделю), подготовка к практическому занятию, решение задач (1 час). Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору или преподавателю, ведущему практические занятия.

Обязательным требованием является выполнение домашних работ, которые оформляются в специально отведённой для этого тетради и систематически сдаются на проверку.

Дополнительная литература:

1. Прут Э.В. Теплофизические свойства твёрдых тел. — М.: МФТИ. 2012.
2. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Юдин Н.П. Частицы и атомные ядра. М.: ЛКИ, 2007.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Управление инновациями в бизнесе  
Физтех-школа бизнеса высоких технологий  
кафедра общей физики  
**курс:** 2  
**квалификация:** бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчики:**

В.В. Усков, доцент

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

И.С. Юдин, канд. физ.-мат. наук, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Общая физика: лабораторный практикум. Часть 4» обучающийся должен:

### знать:

- методику проведения эксперимента;
- методику обработки полученных результатов.

### уметь:

- работать с современным измерительным оборудованием;
- правильно обрабатывать полученные экспериментальные данные.

### владеть:

- навыками работы с современным измерительным оборудованием;
- основными математическими инструментами, характерными для задач механики.

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

1. Как связаны между собой векторы  $D$  и  $E$  в анизотропной среде?
2. Как направлена оптическая ось в одноосном кристалле относительно главных осей эллипсоида диэлектрических проницаемостей?
3. Дайте определение главных показателей преломления.
4. Приведите пример, когда волна, распространяющаяся в кристалле, является обыкновенной и когда необыкновенной.
5. Получите из (1) приближённое выражение (2).
6. Как электромагнитная теория объясняет появление двух преломлённых волн при падении плоской волны на поверхность одноосного кристалла?
7. Как зависит показатель преломления обыкновенной и необыкновенной волны от угла между осью кристалла и волновой нормалью?
8. Как будет зависеть показатель преломления для обыкновенной и необыкновенной волны от угла преломления, если ось кристалла будет параллельна оси вращения призмы?
9. Как направлены векторы  $E$  в выходящих из призмы лучах?

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Работа 4.1.1.

1. Покажите, что если расстояние между предметом и экраном превышает  $4f$ , то изображение на экране может быть получено при двух различных положениях линзы.



2. Опишите методику измерения фокусных расстояний отрицательных линз.
3. Дайте определения главных фокусов, фокусных расстояний и главных плоскостей сложной центрированной оптической системы.
4. Определите графически положение главных плоскостей системы, состоящей из двух тонких линз — собирающей и рассеивающей, — с известными фокусными расстояниями и расстоянием между ними.
5. Дайте определения сферической и хроматической аберраций.
6. Объясните, почему сферическая аберрация зависит от того, какой стороной плосковыпуклая линза обращена к источнику.

#### Работа 4.1.2.

1. С какой целью при исследовании моделей телескопов и микроскопа используется дополнительная зрительная труба?
2. Чему равны поперечное, угловое и продольное увеличения телескопа, если передние фокусные расстояния его объектива и окуляра равны соответственно  $f_1 = 40$  см и  $f_2 = -2$  см?
3. При каком условии угловое увеличение микроскопа равно поперечному?
4. Выведите формулу (4) и объясните соответствующий метод измерения увеличения микроскопа.

#### Работа 4.1.3.

1. Что называется полным внутренним отражением?
2. Для чего грани  $ab$  и  $ed$  призмы  $P_1$  и  $P_2$  делают матовыми?
3. При каких условиях слой жидкости между исследуемым твёрдым образцом и призмой  $P_2$  не влияет на измеренное значение показателя преломления?
4. Что называется атомной и молекулярной рефракцией? Сформулируйте правило аддитивности для рефракций.

#### Работа 4.2.1.

1. Почему в центре колец Ньютона в отражённом свете расположено тёмное пятно?
2. Как расположены кольца Ньютона в проходящем свете?
3. Почему ширина колец убывает с увеличением порядка?
4. Почему при расчёте интерференционной картины не учитывают отражение от передней (плоской) поверхности линзы?
5. Выведите формулу, связывающую период биений, выраженный в числе колец, с длинами волн спектральных линий.
6. Почему видность колец увеличивается при диафрагмировании пучка перед опак-иллюминатором?
7. Почему интерференционные кольца больших номеров кажутся размытыми?

#### Работа 4.2.2.

1. Почему пластинки  $P_1$  и  $P_2$  интерферометра Жамена должны быть достаточно толстыми (не менее 2-3 см)?
2. Могут ли эти пластинки сильно отличаться по толщине?
3. Объясните, почему увеличивается число наблюдаемых интерференционных полос, если на пути лучей из осветителя установлен светофильтр.

#### Работа 4.2.3.

1. Объясните, почему при поочерёдном перекрывании щелей  $D$  наблюдаемая дифракционная картина не смещается.
2. Почему ширина щели  $S$  коллиматора должна быть достаточно малой? Оцените максимальный размер этой щели, если известны фокус коллиматора и расстояние между щелями.
3. Будет ли наблюдаться чёткая нулевая полоса, если исследуемое вещество обладает заметной дисперсией  $n = n(\lambda)$ ? Сделайте соответствующие оценки.

#### Работа 4.2.4.

1. С какой скоростью движется картина интерференционных полос при перемещении подвижного зеркала?
2. Чем ограничена наибольшая и наименьшая скорости движения зеркала, которые могут быть измерены в нашей установке по доплеровскому смещению частоты?
3. Чем определяется точность в измерении длины волны лазера? Как эта точность зависит от скорости перемещения зеркала?
4. Какую форму имеют интерференционные полосы при произвольном расположении источников S1 и S2?

#### Работа 4.2.5.

1. Как связаны между собой функции когерентности и контрастности изображений?
2. Как измерить длину когерентности, радиус когерентности?
3. На рис. 6 при переходе через рког максимумы интерференционных полос меняются на минимумы. Почему?
4. Каков КПД электрической лампы накаливания, используемой для освещения?
5. Как зависит радиус когерентности от ширины оптической щели и расстояния от щели до входной плоскости интерферометра?
6. Как изменится число наблюдаемых интерференционных полос, если между глазом и микроскопом установить оптический фильтр?

#### Работа 4.2.6.

1. Как возникает спекл-структура и чем она отличается от дифракции Фраунгофера на мелкой сетке?
2. При каких условиях будет наблюдаться спекл-картина при отражении от шероховатой поверхности?
3. Как зависит радиус корреляции фазового множителя от характеристик матовой поверхности, показателя преломления материала?
4. Чем определяется длина вектора  $|E_n|$  и угол его поворота на рис. 7?
5. Что такое радиус индикатрисы рассеяния и от чего он зависит?
6. Как использовать гистограмму камеры для её настройки?
7. Наблюдалось ли в опыте нарушение условия  $\langle eif \rangle = 0$ ?

#### Работа 4.3.1. Изучение дифракции света.

1. Объясните, почему при дифракции Френеля на круглом отверстии в центре картины может быть как тёмное, так и светлое пятно, а при дифракции на препятствии круглом экране пятно всегда светлое (пятно Пуассона).
2. Объясните, почему смещение щели S2 в боковом направлении в установке на рис. 3 не приводит к сдвигу дифракционной картины. Будет ли смещаться картина дифракции при смещении щели S2 вдоль оси установки?
3. Получите формулу для распределения интенсивности при дифракции Фраунгофера на двух щелях.
4. Выведите формулу  $d \leq \lambda/b$   $f_1$ . На примере размытия интерференционной картины при широком источнике объясните, что такое пространственная когерентность.
5. Как связана видность интерференционной картины с пространственной когерентностью источника? Чем отличаются графики видности при дискретном и непрерывном изменении параметров источника? То же для временной когерентности.
6. Сформулируйте теорему Бабинне.

#### Работа 4.3.2. Дифракция света на ультразвуковой волне

##### Контрольные вопросы

1. Покажите, что период акустической решётки совпадает с длиной бегущей ультразвуковой волны как в случае бегущих, так и в случае стоячих волн.  
Покажите, что формула  $\Lambda \sin \theta_m = m\lambda$  ( $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) справедлива для любой периодической решётки, независимо от того, является ли она амплитудной или фазовой.
2. Как изменяется во времени интенсивность света в дифракционных максимумах разного порядка при дифракции света на бегущих и на стоячих ультразвуковых волнах?
3. В чём отличие метода тёмного поля от метода фазового контраста?

4. Сформулируйте экспериментальный критерий того, что акустическая решётка является чисто фазовой.

#### Работа 4.3.3. Исследование разрешающей способности микроскопа методом Аббе

##### Контрольные вопросы

1. Какому условию должно удовлетворять расстояние между сеткой и экраном, чтобы на экране наблюдалась дифракционная картина Фраунгофера?
2. Почему при наблюдении дифракции на удалённом экране дифракционные максимумы в случае крупных сеток перекрываются?
3. Почему предмет располагается вблизи передней фокальной плоскости объектива микроскопа?
4. Почему при смещении сетки в поперечном направлении первичное изображение не меняется, а вторичное смещается?
5. Какой пространственный фильтр следует расположить в задней фокальной плоскости объектива, чтобы получить в плоскости Р2 изображение сетки с уменьшенными в два раза линейными размерами ячеек?

##### Критерии оценивания

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 выполнении и сдаче лабораторной работы.

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 выполнении и сдаче лабораторной работы, 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 выполнении и сдаче лабораторной работы.

Оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при выполнении и сдаче лабораторной работы.

Оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и понимание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при выполнении и сдаче лабораторной работы, 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 выполнять основные задания при выполнении и сдаче лабораторной работы 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 при этом продемонстрировавшему способность выполнять основные задания при выполнении и сдаче лабораторной работы 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**

Зачет в каждом семестре проводится по итогам текущей успеваемости (результатам сдачи лабораторных работ)

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Общая физика: лабораторный практикум. Часть 4» осуществляется в форме дифференцированного зачёта.

Для получения зачёта студенту необходимо выполнить заданное количество лабораторных работ. Для выполнения каждой лабораторной работы студент должен подготовиться к выполнению работы, сдать подготовку преподавателю, выполнить экспериментальную часть работы, выполнить необходимые расчёты и оформить работу, сдать работу преподавателю. Для получения зачета по каждой работе предусмотрены контрольные вопросы:

#### Работа 4.1.1.

1. Покажите, что если расстояние между предметом и экраном превышает  $4f$ , то изображение на экране может быть получено при двух различных положениях линзы.
2. Опишите методику измерения фокусных расстояний отрицательных линз.
3. Дайте определения главных фокусов, фокусных расстояний и главных плоскостей сложной центрированной оптической системы.
4. Определите графически положение главных плоскостей системы, состоящей из двух тонких линз — собирающей и рассеивающей, — с известными фокусными расстояниями и расстоянием между ними.
5. Дайте определения сферической и хроматической аберраций.
6. Объясните, почему сферическая аберрация зависит от того, какой стороной плосковыпуклая линза обращена к источнику.

#### Работа 4.1.2.

1. С какой целью при исследовании моделей телескопов и микроскопа используется дополнительная зрительная труба?
2. Чему равны поперечное, угловое и продольное увеличения телескопа, если передние фокусные расстояния его объектива и окуляра равны соответственно  $f_1 = 40$  см и  $f_2 = -2$  см?
3. При каком условии угловое увеличение микроскопа равно поперечному?
4. Выведите формулу (4) и объясните соответствующий метод измерения увеличения микроскопа.

#### Работа 4.1.3.

1. Что называется полным внутренним отражением?
2. Для чего грани  $ab$  и  $ed$  призм  $P_1$  и  $P_2$  делают матовыми?
3. При каких условиях слой жидкости между исследуемым твёрдым образцом и призмой  $P_2$  не влияет на измеренное значение показателя преломления?
4. Что называется атомной и молекулярной рефракцией? Сформулируйте правило аддитивности для рефракций.

#### Работа 4.2.1.

1. Почему в центре колец Ньютона в отражённом свете расположено тёмное пятно?
2. Как расположены кольца Ньютона в проходящем свете?
3. Почему ширина колец убывает с увеличением порядка?
4. Почему при расчёте интерференционной картины не учитывают отражение от передней (плоской) поверхности линзы?

5. Выведите формулу, связывающую период биений, выраженный в числе колец, с длинами волн спектральных линий.
6. Почему видность колец увеличивается при диафрагмировании пучка перед опак-иллюминатором?
7. Почему интерференционные кольца больших номеров кажутся размытыми?

Работа 4.2.2.

1. Почему пластинки P1 и P2 интерферометра Жамена должны быть достаточно толстыми (не менее 2-3 см)?
2. Могут ли эти пластинки сильно отличаться по толщине?
3. Объясните, почему увеличивается число наблюдаемых интерференционных полос, если на пути лучей из осветителя установлен светофильтр.

Работа 4.2.3.

1. Объясните, почему при поочередном перекрывании щелей D наблюдаемая дифракционная картина не смещается.
2. Почему ширина щели S коллиматора должна быть достаточно малой? Оцените максимальный размер этой щели, если известны фокус коллиматора и расстояние между щелями.
3. Будет ли наблюдаться чёткая нулевая полоса, если исследуемое вещество обладает заметной дисперсией  $n = n(\lambda)$ ? Сделайте соответствующие оценки.

Работа 4.2.4.

1. С какой скоростью движется картина интерференционных полос при перемещении подвижного зеркала?
2. Чем ограничена наибольшая и наименьшая скорости движения зеркала, которые могут быть измерены в нашей установке по доплеровскому смещению частоты?
3. Чем определяется точность в измерении длины волны лазера? Как эта точность зависит от скорости перемещения зеркала?
4. Какую форму имеют интерференционные полосы при произвольном расположении источников S1 и S2?

Работа 4.2.5.

1. Как связаны между собой функции когерентности и контрастности изображений?
2. Как измерить длину когерентности, радиус когерентности?
3. На рис. 6 при переходе через рког максимумы интерференционных полос меняются на минимумы. Почему?
4. Каков КПД электрической лампы накаливания, используемой для освещения?
5. Как зависит радиус когерентности от ширины оптической щели и расстояния от щели до входной плоскости интерферометра?
6. Как изменится число наблюдаемых интерференционных полос, если между глазом и микроскопом установить оптический фильтр?

Работа 4.2.6.

1. Как возникает спекл-структура и чем она отличается от дифракции Фраунгофера на мелкой сетке?
2. При каких условиях будет наблюдаться спекл-картина при отражении от шероховатой поверхности?

3. Как зависит радиус корреляции фазового множителя от характеристик матовой поверхности, показателя преломления материала?
4. Чем определяется длина вектора  $|En|$  и угол его поворота на рис. 7?
5. Что такое радиус индикатрисы рассеяния и от чего он зависит?
6. Как использовать гистограмму камеры для её настройки?
7. Наблюдалось ли в опыте нарушение условия  $\langle e|\varphi \rangle = 0$ ?

#### Работа 4.3.1. Изучение дифракции света.

1. Объясните, почему при дифракции Френеля на круглом отверстии в центре картины может быть как тёмное, так и светлое пятно, а при дифракции на препятствии круглом экране пятно всегда светлое (пятно Пуассона).
2. Объясните, почему смещение щели S2 в боковом направлении в установке на рис. 3 не приводит к сдвигу дифракционной картины. Будет ли смещаться картина дифракции при смещении щели S2 вдоль оси установки?
3. Получите формулу для распределения интенсивности при дифракции Фраунгофера на двух щелях.
4. Выведите формулу  $d \leq \frac{\lambda}{b} f_1$ . На примере размытия интерференционной картины при широком источнике объясните, что такое пространственная когерентность.
5. Как связана видность интерференционной картины с пространственной когерентностью источника? Чем отличаются графики видности при дискретном и непрерывном изменении параметров источника? То же для временной когерентности.
6. Сформулируйте теорему Бабине.

#### Работа 4.3.2. Дифракция света на ультразвуковой волне

##### Контрольные вопросы

1. Покажите, что период акустической решётки совпадает с длиной бегущей ультразвуковой волны как в случае бегущих, так и в случае стоячих волн.  
Покажите, что формула  $\Lambda \sin \theta_m = m\lambda$  ( $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) справедлива для любой периодической решётки, независимо от того, является ли она амплитудной или фазовой.
2. Как изменяется во времени интенсивность света в дифракционных максимумах разного порядка при дифракции света на бегущих и на стоячих ультразвуковых волнах?
3. В чём отличие метода тёмного поля от метода фазового контраста?
4. Сформулируйте экспериментальный критерий того, что акустическая решётка является чисто фазовой.

#### Работа 4.3.3. Исследование разрешающей способности микроскопа методом Аббе

##### Контрольные вопросы

1. Какому условию должно удовлетворять расстояние между сеткой и экраном, чтобы на экране наблюдалась дифракционная картина Фраунгофера?
2. Почему при наблюдении дифракции на удалённом экране дифракционные максимумы в случае крупных сеток перекрываются?
3. Почему предмет располагается вблизи передней фокальной плоскости объектива микроскопа?
4. Почему при смещении сетки в поперечном направлении первичное изображение не меняется, а вторичное смещается?
5. Какой пространственный фильтр следует расположить в задней фокальной плоскости объектива, чтобы получить в плоскости P2 изображение сетки с уменьшенными в два раза линейными размерами ячеек?

#### Работа 4.3.4. Метод преобразования Фурье в оптике

##### Контрольные вопросы

1. Как связаны между собой изображения, наблюдаемые в плоскостях  $P_1$ ,  $P_2$ ?
2. Что общего между спектром одиночной щели и спектром периодической последовательности щелей такой же ширины?
3. Как связаны между собой ширина щели и ширина её спектра?
4. В работе наблюдается картина дифракции Фраунгофера на сетке. Какие параметры сетки можно определить по этой картине?
5. Что общего и чем отличаются спектры, образующиеся при дифракции Фраунгофера на щели и на волосе?

#### Работа 4.3.5. Изучение голограммы

##### Контрольные вопросы

1. В чем сходство и различие голограммы точечного источника и зонной пластинки Френеля, фотографии колец Ньютона?
2. Что изменится в изображении голограммы точечного источника, наблюдаемого по схеме, изображённой на рис. 1, если устранить точечный источник  $O'_1$ , поместив в фокус линзы  $L$  небольшой непрозрачный экран-фильтр?
3. Как изменится фокусное расстояние голограммы точечного источника, если она была получена при одной длине волны, а освещается светом с другой длиной волны?
4. Чем определяется минимальный размер голограммы, при котором можно восстановить изображение предмета?
5. Как изменятся масштабы действительного и мнимого изображений предмета, если голограмму освещать расходящейся или сходящейся волной?
6. Как зависит диапазон углов, под которым можно рассматривать мнимое изображение предмета, от разрешающей способности фотоэмульсии, от ширины спектра источника света?

#### Работа 4.3.6. Дифракция света на периодических структурах (саморепродукция).

##### Контрольные вопросы

1. Оцените, на каком расстоянии от экрана до решётки выполняется условие дифракции Фраунгофера.
2. Почему в эксперименте получается лишь несколько чётких репродуцированных изображений решёток?
3. Объясните, как получается выражение для направления на дифракционные максимумы.
4. Объясните, почему изображение проволоочной сетки репродуцируется, а изображение одиночной проволоочки не репродуцируется.

#### Работа 4.4.1. Амплитудная дифракционная решетка

##### Контрольные вопросы

1. Дайте определение спектральных характеристик дифракционной решётки.
2. Сформулируйте критерий Релея.
3. Как меняются угловые характеристики спектров при изменении периода решетки, размера штриха, размера всей решётки?
4. Можно ли по спектру ртутной лампы определить в ваших опытах дисперсионную область?



5. Какие физические и технические причины определяют число эффективно работающих штрихов дифракционной решётки большого размера?

#### Работа 4.4.2. Фазовая дифракционная решетка.

##### Контрольные вопросы

1. Дайте определения спектральных характеристик эшелетта.
2. В чем заключается преимущество эшелетта по сравнению с амплитудной дифракционной решёткой?
3. Какой элемент спектрального прибора: эшелетт, гониометр, Ваш глаз (чувствительность, острота зрения) \_ оказал наибольшее влияние на точность оценки разрешающей способности?
4. Нарисуйте принципиальную оптическую схему установки для определения рабочего порядка эшелетта и его рабочей длины волны.
5. Нарисуйте качественную зависимость интенсивности от угла излучения в дальней зоне для рабочей длины волны. Эшелетт работает в автоколлимационном режиме.

#### Работа 4.4.3. Изучение призмы с помощью гониометра.

##### Контрольные вопросы

1. Дайте определение спектральных характеристик призмы. Чему равна её дисперсионная область?
2. Выведите соотношение, связывающее угол наименьшего отклонения и значение показателя преломления.
3. Дайте качественное объяснение зависимости показателя преломления стекла от длины волны в оптическом диапазоне.
4. Оцените максимальный шаг амплитудной решётки, при котором её угловая дисперсия в 1-м порядке сравнима с угловой дисперсией вашей призмы. Для этого шага оцените размер решётки, при которой её разрешающая способность в 1-м порядке спектра сравнима с разрешающей способностью призмы.

#### Работа 4.4.4. Интерферометр Фабри-Перо

##### Контрольные вопросы

1. Дайте определения и приведите формулы расчёта спектральных характеристик интерферометра Фабри\_Перо.
2. Если бы жёлтые линии ртути были не узкими, а перекрывали друг друга, т.е. имели ширину  $21^\circ \text{А}$ , то можно ли исследовать такой спектр вашим интерферометром?
3. Оцените минимальный диаметр зеркал интерферометра, при котором разрешается жёлтый дублет натрия.
4. Оцените длительность импульса излучения натриевой лампы, при которой интерферометр не разрешает жёлтый дублет. Для этого случая оцените путь, который проходит свет внутри интерферометра, сравните его с базой интерферометра.

#### Работа 4.5.1. Гелий-неоновый лазер.

##### Контрольные вопросы

1. Почему не удаётся получить большего усиления в трубке He–Ne-лазера путём увеличения разрядного тока?
2. Зачем окошки в лазерной трубке приклеены под углом и почему наружные поверхности окошек смотрят вниз, а не вверх или вбок?
3. Зачем в лазерной трубке к рабочему веществу – неону добавляется гелий?

4. Зачем осуществляется модуляция пучка измеряемого излучения и можно ли обойтись без модуляции в данной установке?

#### Работа 4.5.2. Интерференция лазерного излучения.

##### Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия ромба Френеля.
2. Чему равна видность интерференционной картины интерферирующих волн одинаковой интенсивности, если одна волна имеет плоскую поляризацию, а другая круговую?
3. Как изменяется кривая  $V_2(\ell)$  при уменьшении и при увеличении расстояния между зеркалами оптического резонатора лазера?
4. Из каких соображений следует выбирать ширину входной щели фотоприёмного устройства?
5. Как выглядит зависимость  $V(\ell)$  для одной моды; для двух мод?

#### Работа 4.5.3. Сканирующий интерферометр.

##### Контрольные вопросы

1. Объясните основные процессы, приводящие к появлению инверсной заселённости уровней неона.
2. Почему плоскопараллельные пластинки, закрывающие с торцов рабочую трубку с гелий-неоновой смесью, устанавливают под углом Брюстера?
3. Что такое моды? Получите формулу  $\nu_{m+1} - \nu_m = \frac{c}{2L}$  для межмодового расстояния.
4. В чём состоит условие возбуждения лазера?
5. Выведите формулу  $R = \frac{2\pi l}{\lambda(1-r)}$  для разрешающей способности интерферометра Фабри\_Перо.
6. Как работает поляризационная развязка?
7. При какой длине резонатора He–Ne-лазера, независимо от уровня накачки, генерация возможна не более чем на одной моде (одномодовый лазер)?

#### Работа 4.6.1 Интерференция электромагнитных волн миллиметрового диапазона.

##### Контрольные вопросы

1. Выведите соотношение  $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi$ .
2. Как убедиться на опыте, что электромагнитная волна, излучаемая передающей антенной, линейно поляризована?
3. Как экспериментально определить направление колебаний вектора электрического поля в электромагнитной волне?
4. В чём заключается закон Малюса и как его экспериментально проверить?
5. При каких условиях можно наблюдать интерференцию ЭМ-волн?
6. Оцените длину и радиус когерентности для опыта с зеркалом и решёткой.
7. Укажите возможные причины расхождения измеренных в работе величин друг с другом и с известными значениями этих величин.

#### Работа 4.6.2. Туннелирование миллиметровых радиоволн.

##### Контрольные вопросы

1. Какой угол называется предельным углом полного внутреннего отражения? Чему он равен?
2. Что такое неоднородная волна? Как направлен вектор Умова–Пойнтинга в такой волне и почему?

3. В чем заключается явление туннелирования волн? Чем отличается это явление от обычного прохождения волн через тонкие прозрачные пластинки?
4. Каковы возможные причины расхождения измеренных в работе величин друг с другом и с табличными значениями этих величин?

#### Работа 4.7.1. Двойное лучепреломление.

##### Контрольные вопросы

1. Как связаны между собой векторы  $D$  и  $E$  в анизотропной среде?
2. Как направлена оптическая ось в одноосном кристалле относительно главных осей эллипсоида диэлектрических проницаемостей?
3. Дайте определение главных показателей преломления.
4. Приведите пример, когда волна, распространяющаяся в кристалле, является обыкновенной и когда необыкновенной.

1. Получите из  $\frac{1}{n^2(\theta)} = \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2} + \frac{\cos^2 \theta}{n_o^2}$  приближённое выражение

$$n(\theta) \approx n_e + (n_o - n_e) \cos^2 \theta.$$

6. Как электромагнитная теория объясняет появление двух преломлённых волн при падении плоской волны на поверхность одноосного кристалла?
7. Как зависит показатель преломления обыкновенной и необыкновенной волны от угла между осью кристалла и волновой нормалью?
8. Как будет зависеть показатель преломления для обыкновенной и необыкновенной волны от угла преломления, если ось кристалла будет параллельна оси вращения призмы?
9. Как направлены векторы  $E$  в выходящих из призмы лучах?

#### Работа 4.7.2. Эффект Поккельса

##### Контрольные вопросы

1. Можно ли наблюдать эффект Поккельса в жидкости?
2. Почему при повороте анализатора на  $90^\circ$  интерференционная картина на экране меняется с позитива на негатив?
3. Что такое полуволновое напряжение  $U_{\lambda/2}$ ? Как оно зависит от длины волны  $\lambda$ ?
4. Почему при  $U = 1/2 U_{\lambda/2}$  поляризация на выходе из кристалла круговая?
5. Оцените относительное изменение показателя преломления данного кристалла при подаче напряжения  $U = U_{\lambda/2}$ .
6. Выведите формулу  $I_{\text{вых}} = I_0 \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} \frac{U}{U_{\lambda/2}} \right)$ .

#### Работа 4.7.3. Поляризация

##### Контрольные вопросы

1. Покажите, что при выполнении условия Брюстера отражённый и преломлённый лучи взаимно перпендикулярны.
2. Как отличить свет с правой и с левой круговой поляризацией?
3. Неполаризованный свет проходит через двоякопреломляющую пластинку  $\lambda/4$ . Что можно сказать о поляризации света на выходе из пластинки?
4. Как отличить естественный свет от света, поляризованного по кругу, и от смеси естественного света со светом, поляризованным по кругу?
5. Объясните изменения интенсивности и цвета, наблюдаемые в опытах по интерференции поляризованных лучей.
6. Почему свет от вечернего неба поляризован?

#### Работа 4.7.4. Вращение плоскости поляризации.

##### Контрольные вопросы

1. В чём заключается отличие оптической активности от двойного лучепреломления?
2. Как объясняет теория Френеля поворот плоскости поляризации в оптически активных веществах?
3. Что называют удельным вращением?
4. Как работает поляризационная призма Николя?
5. Опишите принцип устройства и работы поляриметра.
6. При исследовании магнитного вращения плоскости поляризации иногда применяют устройства с многократным прохождением света в образце в направлении по и против магнитного поля. Объясните, почему в этом случае эффект поворота плоскости поляризации накапливается.

#### 4. Критерии оценивания

По результатам подготовки работу выставляется от 0 до 10 баллов согласно уровню подготовки студента. По результатам сдачи выставляется от 0 до 10 баллов согласно уровню подготовленного отчёта и знаний студента. Из полученных баллов за каждую работу рассчитывается средний балл

Оценка	Баллы
отлично	10
	9
	8
хорошо	7
	6
	5
удовлетворительно	4
	3
неудовлетворительно	2
	1

Из полученных баллов за каждую работу рассчитывается средний балл, который определяет оценку за зачёт.

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 выполнении и сдаче лабораторной работы.

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 выполнении и сдаче лабораторной работы, 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 выполнении и сдаче лабораторной работы.

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

Оценка **«хорошо (5)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и понимание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при выполнении и сдаче лабораторной работы, 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 выполнять основные задания при выполнении и сдаче лабораторной работы 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 при этом продемонстрировавшему способность выполнять основные задания при выполнении и сдаче лабораторной работы 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**

Зачет в каждом семестре проводится по итогам текущей успеваемости (результатам сдачи лабораторных работ)