

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

<b>по дисциплине:</b>	Теоретические основы волоконной и интегральной оптики
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра фотоники
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

А.В. Коняшкин, канд. физ.-мат. наук

А.Д. Шатров, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры фотоники 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Теоретические основы волоконной и интегральной оптики" предусматривает изучение основ волоконной и интегральной оптики.

Задачи курса:

- изучение особенностей световодов различных типов;
- освоение основных методов описания распространения излучения в световодах и процессов, происходящих в световодах при распространении излучения;
- изучение характеристик реальных оптических волокон

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

- теоретические основы описания распространения электромагнитных волн в световодах;
- основные явления, возникающие при распространении электромагнитных волн в световодах.

Уметь:

- самостоятельно изучать литературу и научные статьи по волоконной оптике;
- рассчитывать основные параметры волоконных световодов различного типа.

Владеть:

- основными теоретическими моделями, используемыми для расчётов и описания распространения излучения в различных световодах и происходящих при этом процессов.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Основные уравнения волновой оптики
2. Плоские волны в однородных средах
3. Интерференция и дифракция световых волн
4. Симметричные планарные световоды
5. Планарные световоды для интегральной оптики
6. Круглые волоконные световоды
7. Характеристики реальных оптических волокон
8. Дифракция плоских волн на диэлектрических телах
9. Длинные волновые пучки
10. Волны в периодических структурах

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- изучение основ волоконной и интегральной оптики.

### Задачи дисциплины

- изучение особенностей световодов различных типов;
- освоение основных методов описания распространения излучения в световодах и процессов, происходящих в световодах при распространении излучения;
- изучение характеристик реальных оптических волокон.

## 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,	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи

применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
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-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- теоретические основы описания распространения электромагнитных волн в световодах;
- основные явления, возникающие при распространении электромагнитных волн в световодах.

уметь:

- самостоятельно изучать литературу и научные статьи по волоконной оптике;
- рассчитывать основные параметры волоконных световодов различного типа.

владеть:

- основными теоретическими моделями, используемыми для расчётов и описания распространения излучения в различных световодах и происходящих при этом процессов.

### 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	Основные уравнения волновой оптики	2	2		2
2	Плоские волны в однородных средах	4	4		2
3	Интерференция и дифракция световых волн	4	4		3
4	Симметричные планарные световоды	4	4		3
5	Планарные световоды для интегральной оптики	4	4		3
6	Круглые волоконные световоды	4	4		3
7	Оптические волокна	2	2		3
8	Дифракция волн	2	2		3
9	Длинные волновые пучки	2	2		3
10	Волны в периодических структурах	2	2		5
Итого часов		30	30		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 7 (Осенний)

## 1. Основные уравнения волновой оптики

1.1. Уравнения Максвелла в вакууме. Уравнения Максвелла для комплексных амплитуд. Уравнения Максвелла в средах.

1.2. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Частотная дисперсия. Соотношения Крамерса-Кронига. Волновое уравнение. Двумерные электромагнитные поля.

## 2. Плоские волны в однородных средах

2.1. Плоские волны в изотропной среде. Линейно-поляризованные волны. Круго-поляризованные волны. Плоские волны в слабо поглощающей среде. Отражение и преломление плоских волн на плоской границе раздела изотропных сред.

2.2. Закон Снеллиуса. Формулы Френеля. Полное внутреннее отражение. Угол Брюстера. Плоские волны в анизотропной среде. Уравнение Френеля. Линейная поляризованность и ортогональность плоских волн. Оптическая индикатриса. Оптические оси анизотропной среды. Преломление плоских волн на границе раздела изотропной и анизотропной сред.

## 3. Интерференция и дифракция световых волн

3.1. Интерференция при коллинеарности векторов  $E_1$  и  $E_2$ . Интерференция при неколлинеарности векторов  $E_1$  и  $E_2$ . Интерференция квазимонохроматических волн.

3.2. Влияние размеров некогерентного излучателя на видность интерференционной картины. Многолучевая интерференция. Интерферометр Фабри-Перо. Дифракционная расходимость волновых пучков. Дифракция плоской волны на щели в экране и на решетке щелей.

## 4. Симметричные планарные световоды

4.1. Планарный световод со ступенчатым профилем. Волновая теория. Лучевая теория. Числовая апертура световода. Вытекающие моды. Фазовая и групповая скорости мод.

4.2. Планарные световоды с градиентными профилями. Градиентный световод с нулевой межмодовой дисперсией. Световод с параболическим профилем показателя преломления.

4.3. Метод ВКБ. Связь лучевых и модовых представлений.

## 5. Планарные световоды для интегральной оптики

5.1. Трехслойный несимметричный световод. Связанные планарные световоды. Интерференция четной и нечетной мод в световоде из двух разделенных слоев.

5.2. Уравнения связанных мод. Направленный ответвитель.

## 6. Круглые волоконные световоды

6.1. Волновая теория волоконного световода со ступенчатым профилем показателя преломления.

6.2. Характеристическое уравнение для волновых чисел мод. Симметричные моды. Гибридные моды.

6.3. Слабонаправляющее волокно. Группы квазивырожденных мод. Линейно поляризованные моды слабонаправляющего волокна.

6.4. Градиентный многомодовый волоконный световод. Метод ВКБ. Лучевая оптика градиентных волоконных световодов. Оптимальные профили.

## 7. Оптические волокна

Характеристики реальных оптических волокон в изделиях.

## 8. Дифракция волн

Дифракция плоских волн на диэлектрических телах.

## 9. Длинные волновые пучки

9.1 Параболическое уравнение. Гауссовы пучки. Линзовая линия. Резонатор со сферическими зеркалами.

## 10. Волны в периодических структурах

10.1. Периодическая кусочно-постоянная среда. Синусоидально-модулированная среда. Уравнения связанных мод. Зоны прозрачности и зоны непропускания.

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

учебная аудитория, оснащенная мультимедиа проектором, экраном и микрофоном.

## 6.Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Волоконно-оптические системы передачи: Учебник для вузов /М.М. Бутусов, С.М. Верник, С.Л. Галкин, и др. М.: Радио и связь, 1992.
2. Дж. Гауэр. Оптические системы связи. М.: радио и связь, 1998.
3. А.Б. Иванов. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999.
4. Неганов В.А. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Радиотехника, 2009.

### Дополнительная литература

1. Солимено С., Крозиньяни Б. Порто П. Дифракция и волноводное распространение оптического излучения: Перевод с английского. М. Мир, 1989.
2. Никоноров Н.В., Сидоров А.И. Материалы и технологии волоконной оптики: оптическое волокно для систем передачи информации. ГУИТМО Спб. 2009.

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

1. <http://www.opticsinfobase.org>
2. <http://www.elsevier.com>
3. <http://www.sciencedirect.com>
4. <http://www.elibrary.ru>
5. <http://www.books.google.ru>

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

мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

- 1) посещение всех лекций и семинаров, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий; активное участие в обсуждении лекций и семинаров;
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к преподавателю на лекции или к докладчику на семинаре.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра фотоники
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчики:**

А.В. Коняшкин, канд. физ.-мат. наук

А.Д. Шатров, д-р физ.-мат. наук, профессор

## 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-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
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-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теоретические основы волоконной и интегральной оптики» обучающийся должен:

### знать:

- теоретические основы описания распространения электромагнитных волн в световодах;
- основные явления, возникающие при распространении электромагнитных волн в световодах.

### уметь:

- самостоятельно изучать литературу и научные статьи по волоконной оптике;
- рассчитывать основные параметры волоконных световодов различного типа.

### владеть:

- основными теоретическими моделями, используемыми для расчётов и описания распространения излучения в различных световодах и происходящих при этом процессов.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

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

1. Основные уравнения волновой оптики
2. Плоские волны в однородных средах
3. Интерференция и дифракция световых волн
4. Симметричные планарные световоды
5. Планарные световоды для интегральной оптики
6. Круглые волоконные световоды
7. Характеристики реальных оптических волокон
8. Дифракция плоских волн на диэлектрических телах
9. Длинные волновые пучки
10. Волны в периодических структурах

Вопросы к промежуточной аттестации:

1. Основные уравнения волновой оптики
2. Плоские волны в однородных средах
3. Интерференция и дифракция световых волн
4. Симметричные планарные световоды
5. световоды для интегральной оптики
6. Круглые волоконные световоды
7. Характеристики реальных оптических волокон
8. Дифракция плоских волн на диэлектрических телах
9. Длинные волновые пучки
10. Волны в периодических структурах

Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.



9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);
- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;

- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

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

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется до 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.