

**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**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Нелинейная оптика
<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 квантовой электроники
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Экзамен

2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 90 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Подготовка к экзамену: 60 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составил: Л.А. Скворцов, д-р техн. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовой электроники 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Нелинейная оптика" предусматривает формирование у слушателей понимания теоретических основ современной нелинейной оптики для последующего использования полученных знаний на практике при разработке нелинейно-оптических устройств для квантовых оптических систем.

Задачи курса:

- приобретение слушателями фундаментальных теоретических знаний по нелинейной оптике;
- приобретение слушателями навыков применения методов нелинейной оптики для исследовательских целей и решения конкретных практических задач в области оплотехники;
- формирование у слушателей представлений о перспективах развития нелинейной оптики.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

основные теоретические методы, используемые в нелинейной оптике;  
характеристики нелинейно-оптических материалов и устройств;  
нелинейно-оптические эффекты при распространении лазерного излучения в различных средах.

Уметь:

применять методы нелинейной оптики к решению конкретных практических задач оплотехники;  
делать оценки и расчеты для нахождения необходимых параметров среды и поля;  
ориентироваться в периодической литературе и отыскивать необходимые данные;  
правильно излагать результаты исследований.

Владеть:

понятиями и определениями, принятыми в нелинейной оптике;  
представлениями о характере взаимодействия лазерного излучения с веществом.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Предмет нелинейной оптики. Классификация нелинейно-оптических эффектов
2. Уравнения Максвелла – Лоренца в среде. Феноменологическое описание оптических восприимчивостей
3. Метод медленно меняющихся амплитуд. Стационарные укороченные уравнения
4. Нестационарные укороченные уравнения. Второе приближение теории дисперсии
5. Четырехфотонные взаимодействия. Резонансные четырехфотонные процессы
6. Вынужденное рассеяние света. Самовоздействие световых волн
7. Применение принципов нелинейной оптики в современной оплотехнике

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- формирование у слушателей понимания теоретических основ современной нелинейной оптики для последующего использования полученных знаний на практике при разработке нелинейно-оптических устройств для квантовых оптических систем.

### Задачи дисциплины

- приобретение слушателями фундаментальных теоретических знаний по нелинейной оптике;
- приобретение слушателями навыков применения методов нелинейной оптики для исследовательских целей и решения конкретных практических задач в области оплотехники;

- формирование у слушателей представлений о перспективах развития нелинейной оптики.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

основные теоретические методы, используемые в нелинейной оптике;  
 характеристики нелинейно-оптических материалов и устройств;  
 нелинейно-оптические эффекты при распространении лазерного излучения в различных средах.

уметь:

применять методы нелинейной оптики к решению конкретных практических задач оптоэлектроники;  
 делать оценки и расчеты для нахождения необходимых параметров среды и поля;  
 ориентироваться в периодической литературе и отыскивать необходимые данные;

правильно излагать результаты исследований.

владеть:

понятиями и определениями, принятыми в нелинейной оптике;  
 представлениями о характере взаимодействия лазерного излучения с веществом.

## 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	Предмет нелинейной оптики. Классификация нелинейно-оптических эффектов	5	15		15
2	Уравнения Максвелла – Лоренца в среде. Феноменологическое описание оптических восприимчивостей	5	15		15

3	Метод медленно меняющихся амплитуд. Стационарные укороченные уравнения	5	15		15
4	Нестационарные укороченные уравнения. Второе приближение теории дисперсии	3	3		2
5	Четырехфотонные взаимодействия. Резонансные четырехфотонные процессы	4	4		2
6	Вынужденное рассеяние света. Самовоздействие световых волн	4	4		2
7	Применение	4	4		24
Итого часов		30	60		75
Подготовка к экзамену		60 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

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

##### Семестр: 1 (Осенний)

#### 1. Предмет нелинейной оптики. Классификация нелинейно-оптических эффектов

1.1. Предмет нелинейной оптики, и история ее развития. Классификация оптических эффектов. Когерентные и некогерентные нелинейно-оптические эффекты.

1.2. Генерация гармоник. Смещение частот.

1.3. Вынужденное рассеяние. Нелинейное поглощение света. Эффекты самовоздействия.

#### 2. Уравнения Максвелла – Лоренца в среде. Феноменологическое описание оптических восприимчивостей

2.1. Уравнения Максвелла – Лоренца в среде. Нелинейный отклик среды. Нелинейная поляризация. Разложение поляризации по степеням поля и классификация нелинейно-оптических эффектов на его основе.

2.2. Феноменологическое описание оптических восприимчивостей. Тензоры оптических восприимчивостей. Перестановочные соотношения.

2.3. Генерация второй гармоники на основе интегрального подхода.

2.4. Свойства симметрии оптических сред. Кристаллы с регулярной доменной структурой (РДС).

#### 3. Метод медленно меняющихся амплитуд. Стационарные укороченные уравнения

3.1. Метод медленно меняющихся амплитуд. Стационарные укороченные уравнения. Среды с квадратичной нелинейностью. Трехфотонные взаимодействия.

3.2 . Система стационарных укороченных уравнений. Генерация второй гармоники (ГВГ) в приближении заданного поля.

3.3. Фазовый (волновой) синхронизм и методы его реализации. Волновая расстройка.

3.4. Генерация суммарных и разностных частот в квадратично-нелинейных средах. Основные решения в приближении заданного поля.

3.5. Уравнения для медленно меняющихся амплитуд и фаз. Уравнения для действительных амплитуд и фаз. Захват фазы.

3.6. Точное решение для генерации второй гармоники.

3.7. Параметрическое усиление. Параметрический генератор света (ПГС). Перестройка частоты.

3.8. Однорезонаторный и двухрезонаторный ПГС. Параметрический генератор встречной волны.

## Семестр: 2 (Весенний)

### 4. Нестационарные укороченные уравнения. Второе приближение теории дисперсии

4.1. Нестационарные укороченные уравнения. Второе приближение теории дисперсии. Учет пространственной и временной дисперсии.

4.2. Уравнения для пучков и импульсов. Дифракционные эффекты. Дисперсионное расщепление импульсов.

4.3. Нестационарные параметрические эффекты. Влияние расстройки групповых скоростей. Нестационарная ГВГ.

4.4. Параметрический генератор бегущей волны. Апертурные эффекты. Параметрическое взаимодействие волн в средах с отрицательной дисперсией.

4.5. Внутррезонаторная генерация второй гармоники (ВРГВГ)

### 5. Четырехфотонные взаимодействия. Резонансные четырехфотонные процессы

5.1. Четырехфотонные взаимодействия. Резонансные четырехфотонные процессы.

5.2. Расчет нелинейных восприимчивостей. Условия фазового согласования сфокусированных полей.

5.3. Ограничивающие процессы: насыщение резонансного перехода, движение населенностей и связанное с ним нарушение условий синхронизма.

5.4. Параметрическое просветление и высокочастотный эффект Керра. Параметрические преобразователи на основе резонансных сред.

5.5. Генерация третьей гармоники. Ап конверсия.

### 6. Вынужденное рассеяние света. Самовоздействие световых волн

6.1. Спонтанное и вынужденное комбинационное рассеяние света (СКР и ВКР). Порог ВКР.

6.2. Вынужденное рассеяние Манделъштама – Бриллюэна. Комбинационные лазеры.

6.3. Самофокусировка световых волн. Многофотонное поглощение.

6.4. Эффект обращения волнового фронта и его применение.

6.5. Спектроскопия комбинационного рассеяния.

### 7. Применение

Применение принцип нелинейной оптики в современной оплотехнике.

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

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Принципы лазеров [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / О. Звелто ; пер. с англ. Д. Н. Козлова [и др.] ; под науч. ред. Т. А. Шмаонова ; рус. пер. перераб. и доп. при участии автора книги .— 4-е изд. — СПб. : Лань, 2008 .— 720 с.
2. В.Г. Дмитриев. Нелинейная оптика и обращение волнового фронта. М., Физматлит, 2000.
3. В.В. Слабко. Нелинейная оптика. Красноярск, ИПК СФУ, 2008.
4. С.А. Ахманов, С.Ю. Никитин. Физическая оптика. Изд-во МГУ, 1998.

#### Дополнительная литература

1. Четырнадцать лекций о лазерах [Текст] : [курс лекций] / Л. В. Тарасов .— изд. стереотип. — М : Кн. дом "ЛИБРОКОМ", 2014 .— 176 с.

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

- "1. [http://www.femto.com.ua/articles/part\\_2/2493.html](http://www.femto.com.ua/articles/part_2/2493.html)
2. [http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o\\_1781334](http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_1781334)
3. <http://www.elibrary.ru>
4. <http://www.quantum-electron.ru>
5. [http://shg.phys.msu.ru/educat/nl\\_opt.html](http://shg.phys.msu.ru/educat/nl_opt.html)
- "

#### **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 и семинарских занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

Студент, прослушавший курс лекций и семинаров, должен овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике.

Успешное освоение курса требует:

- 1) посещения 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 квантовой электроники
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
1 (осенний) - Экзамен	
2 (весенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	Л.А. Скворцов, д-р техн. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Нелинейная оптика» обучающийся должен:

### знать:

основные теоретические методы, используемые в нелинейной оптике;  
характеристики нелинейно-оптических материалов и устройств;  
нелинейно-оптические эффекты при распространении лазерного излучения в различных средах.

### уметь:

применять методы нелинейной оптики к решению конкретных практических задач оптотехники;  
делать оценки и расчеты для нахождения необходимых параметров среды и поля;  
ориентироваться в периодической литературе и отыскивать необходимые данные;  
правильно излагать результаты исследований.

### владеть:

понятиями и определениями, принятыми в нелинейной оптике;  
представлениями о характере взаимодействия лазерного излучения с веществом.

## 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

Вопросы к экзамену:

1. Предмет нелинейной оптики. Классификация нелинейно-оптических эффектов
2. Уравнения Максвелла – Лоренца в среде. Феноменологическое описание оптических восприимчивостей
3. Метод медленно меняющихся амплитуд. Стационарные укороченные уравнения
4. Нестационарные укороченные уравнения. Второе приближение теории дисперсии
5. Четырехфотонные взаимодействия. Резонансные четырехфотонные процессы
6. Вынужденное рассеяние света. Самовоздействие световых волн
7. Применение принцип нелинейной оптики в современной оптотехнике

Примеры экзаменационных билетов.



### Пример 1.

1. Уравнения Максвелла – Лоренца в среде. Феноменологическое описание оптических восприимчивостей
2. Метод медленно меняющихся амплитуд. Стационарные укороченные уравнения

### Пример 2.

1. Четырехфотонные взаимодействия. Резонансные четырехфотонные процессы
2. Вынужденное рассеяние света. Самовоздействие световых волн

### 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 экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.