Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ МЕТРОЛОГИИ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 01/08-577

от 28.08.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ

Направление подготовки (специальность) [1] 03.03.01 Прикладные математика и физика

Семестр	**Трудоемкость, кред.**	**Общий объем курса, час.**	**Лекции, час.**	**Практич. занятия, час.**	**Лаборат. работы, час.**	**В форме практической подготовки, час.**	**СРС, час.**	**КСР, час.**	**Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП**
8	1	36	11	11	0		14	0	З
Итого	1	36	11	11	0	0	14	0	

АННОТАЦИЯ

Дисциплина посвящена изучению фундаментальных физических механизмов нелинейного взаимодействия интенсивного оптического излучения с веществом. В рамках курса рассматриваются микроскопическая природа оптической нелинейности, классические и квантово-механические модели нелинейного отклика, нелинейные оптические восприимчивости, влияние симметрии и электронной структуры вещества на его оптические свойства. Изучаются резонансные и нерезонансные механизмы нелинейности, многофотонные процессы, нелинейное поглощение и преломление, физические основы преобразования частот оптического излучения. Особое внимание уделяется нелинейным оптическим свойствам различных материалов, включая полупроводники и низкоразмерные структуры, а также экспериментальным методам их исследования. Курс формирует фундаментальную основу для последующего углубленного изучения нелинейной и квантовой оптики.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины - Формирование у студентов систематизированных знаний о фундаментальных физических основах нелинейной оптики, микроскопических механизмах взаимодействия интенсивного оптического излучения с веществом, закономерностях формирования нелинейного оптического отклика и его зависимости от структуры и свойств среды, а также создание теоретической базы для последующего углубленного изучения нелинейной и квантовой оптики.

Задачи дисциплины:

-Изучение физических причин возникновения нелинейного оптического отклика вещества и основных механизмов нелинейного взаимодействия электромагнитного излучения с материальными средами.

-Освоение классических и квантово-механических моделей нелинейной поляризации вещества, физических представлений о нелинейных оптических восприимчивостях и их зависимости от частоты, симметрии и электронной структуры среды.

-Изучение резонансных и нерезонансных механизмов оптической нелинейности, процессов нелинейного поглощения и преломления, а также временной динамики и релаксационных процессов при взаимодействии интенсивного излучения с веществом.

-Формирование представлений о физических принципах основных нелинейно-оптических явлений, включая генерацию оптических гармоник, смешение частот, многофотонные процессы и эффекты самовоздействия излучения.

-Изучение особенностей нелинейных оптических свойств различных материалов, включая атомные и молекулярные среды, кристаллы, полупроводники и низкоразмерные структуры.

-Ознакомление с физическими принципами экспериментальных методов исследования нелинейных оптических свойств материалов и современными направлениями применения нелинейно-оптических явлений.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс предполагает знание квантовой физики.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	**Код и наименование индикатора достижения компетенции**

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	**Объект или область знания**	**Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)**	**Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции**
научно-исследовательский			
участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий; участие в обобщении полученных данных, формировании выводов, в подготовке научных и аналитических отчетов, публикаций и презентаций результатов научных и аналитических исследований	модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области суперкомпьютерного моделирования инженерно-физических процессов в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства	ПК-4 [1] - Способен критически оценивать применяемые методики и методы исследования *Основание:* Профессиональный стандарт: 25.049, 40.008, 40.011	З-ПК-4[1] - Знать основные методики и методы исследования в сфере своей профессиональной деятельности ; У-ПК-4[1] - Уметь анализировать и критически оценивать применяемые методики и методы исследования.; В-ПК-4[1] - Владеть навыками выбора и критической оценки применяемых методик и методов исследования в сфере своей профессиональной деятельности
инновационный			
участие в модернизации существующих, разработке и внедрении новых методов освоения производственно-технологических процессов и новой	объекты техники, технологии и производства	ПК-5 [1] - Способен управлять программами освоения новой продукции и технологии, разрабатывать эффективную стратегию	З-ПК-5[1] - Знать основные методы и принципы управления программами освоения новой продукции и технологии, разрабатывать

продукции в сфере высоких и наукоемких технологий		*Основание:* Профессиональный стандарт: 29.002, 40.011	эффективную стратегию в сфере своей профессиональной деятельности. ; У-ПК-5[1] - Уметь находить оптимальные решения при освоения новой продукции и технологии, разрабатывать эффективную стратегию. ; В-ПК-5[1] - Владеть навыками нахождения оптимальных решений для освоения новой продукции и технологии, разрабатывать эффективную стратегию

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	**Задачи воспитания (код)**
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры безопасности при работе с лазерным излучением (В27)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры безопасности при работе на экспериментальных и промышленных установках высокой мощности (В28)

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	8 Семестр						
1	Первый раздел	1-5	5/5/0		25	КИ-5	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
2	Второй раздел	6-11	6/6/0		25	КИ-11	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
	Итого за 8 Семестр		11/11/0		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	З	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	8 Семестр	11	11	0
1-5	**Первый раздел**	5	5	0
1 - 5	**Введение в нелинейную оптику** Границы применимости линейной оптики. Интенсивность света и напряженность электрического поля. Характерные масштабы оптических полей. Классификация нелинейно-оптических явлений. Поляризация вещества. Ангармонизм	Всего аудиторных часов		
		5	5	0
		Онлайн		
		0	0	0

	движения связанных электронов. Электронные, ионные, ориентационные и тепловые механизмы нелинейности. Модель ангармонического осциллятора. Квадратичная и кубическая нелинейности. Возникновение высших гармоник. Частотная зависимость отклика. Разложение поляризации по степеням электрического поля. Восприимчивости второго и третьего порядков. Дисперсия, действительная и мнимая части восприимчивости. Тензорное описание нелинейного отклика. Симметрия кристаллов. Правила отбора для нелинейных восприимчивостей. Поверхностная и объемная нелинейность. Взаимодействие излучения с квантовыми системами. Дипольные переходы. Реальные и виртуальные состояния. Резонансное усиление нелинейного отклика. Двухуровневая система. Населенности энергетических уровней. Насыщение поглощения. Интенсивностная зависимость оптических свойств. Времена релаксации. Дефазировка. Быстрые и медленные нелинейности. Отклик вещества на короткие лазерные импульсы.			
6-11	**Второй раздел**	6	6	0
6 - 11	**Нелинейное поглощение и многофотонные процессы** Двухфотонное и многофотонное поглощение. Насыщаемое и обратное насыщаемое поглощение. Фотоинизация интенсивным излучением. Нелинейная поляризация как источник излучения. Генерация гармоник. Смешение частот. Законы сохранения энергии и импульса. Физический смысл фазового синхронизма. Фазовая и групповая скорости. Дисперсия групповой скорости. Двулучепреломление. Влияние дисперсии на взаимодействие оптических волн. Оптический эффект Керра. Нелинейная рефракция. Физические предпосылки самофокусировки и фазовой самомодуляции. Нелинейности газов, жидкостей и твердых тел. Влияние электронной структуры, молекулярной поляризуемости и симметрии вещества. Межзонные переходы. Экситонные эффекты. Квантовые ямы и квантовые точки. Локальные поля и плазмонные резонансы. Измерение нелинейных восприимчивостей. Нелинейная оптическая спектроскопия. Методы возбуждения и зондирования. Временное разрешение. Генерация высоких гармоник. Аттосекундная оптика. Нелинейная нанофотоника. Метаповерхности. Интегральные нелинейно-оптические устройства.	Всего аудиторных часов		
		6	6	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	**Полное наименование**
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы

АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки, курс реализует компетентностный подход и предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (разбор домашних заданий, система контрольно-измерительных материалов, включая тесты) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	**Индикаторы освоения**	**Аттестационное мероприятие (КП 1)**
ПК-4	З-ПК-4	З, КИ-5, КИ-11
	У-ПК-4	З, КИ-5, КИ-11
	В-ПК-4	З, КИ-5, КИ-11
ПК-5	З-ПК-5	З, КИ-5, КИ-11
	У-ПК-5	З, КИ-5, КИ-11
	В-ПК-5	З, КИ-5, КИ-11

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

<table>
<tr><th>Сумма баллов</th><th>Оценка по 4-х балльной шкале</th><th>Отметка о зачете</th><th>Оценка ECTS</th></tr>
<tr><td>90-100</td><td>5 – «отлично»</td><td rowspan="7">«зачтено»</td><td>A</td></tr>
<tr><td>85-89</td><td rowspan="3">4 – «хорошо»</td><td>B</td></tr>
<tr><td>75-84</td><td>C</td></tr>
<tr><td>70-74</td><td rowspan="2">D</td></tr>
<tr><td>65-69</td><td rowspan="2">3 – «удовлетворительно»</td></tr>
<tr><td>60-64</td><td>E</td></tr>
</table>

ниже 60	2 – «*неудовлетворительно*»	*«не зачтено»*	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

https://online.mephi.ru/

http://library.mephi.ru/

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Для успешного обучения по данной дисциплине студент должен знать: основные понятия атомной физики, квантовой механики. В курсе освещаются следующие темы: Границы применимости линейной оптики. Интенсивность света и напряженность электрического поля. Характерные масштабы оптических полей. Классификация нелинейно-оптических явлений. Поляризация вещества. Ангармонизм движения связанных электронов. Электронные, ионные, ориентационные и тепловые механизмы нелинейности. Модель ангармонического осциллятора. Квадратичная и кубическая нелинейности. Возникновение высших гармоник. Частотная зависимость отклика. Разложение поляризации по степеням электрического поля. Восприимчивости второго и третьего порядков. Дисперсия, действительная и мнимая части восприимчивости. Тензорное описание нелинейного отклика. Симметрия кристаллов. Правила отбора для нелинейных восприимчивостей. Поверхностная и объемная нелинейность. Взаимодействие излучения с квантовыми системами. Дипольные переходы. Реальные и виртуальные состояния. Резонансное усиление нелинейного отклика. Двухуровневая система. Населенности энергетических уровней. Насыщение поглощения. Интенсивностная зависимость оптических свойств. Времена релаксации. Дефазировка. Быстрые и медленные нелинейности. Отклик вещества на короткие лазерные импульсы. Двухфотонное и многофотонное поглощение. Насыщаемое и обратное насыщаемое поглощение. Фотоинизация интенсивным излучением. Нелинейная поляризация как источник излучения. Генерация гармоник. Смешение частот. Законы сохранения энергии и импульса. Физический смысл фазового синхронизма. Фазовая и групповая скорости. Дисперсия групповой скорости. Двулучепреломление. Влияние дисперсии на взаимодействие оптических волн. Оптический эффект Керра. Нелинейная рефракция. Физические предпосылки самофокусировки и фазовой самомодуляции. Нелинейности газов, жидкостей и твердых тел. Влияние электронной структуры, молекулярной поляризуемости и симметрии вещества. Межзонные переходы. Экситонные эффекты. Квантовые ямы и квантовые точки. Локальные поля и плазмонные резонансы. Измерение нелинейных восприимчивостей. Нелинейная оптическая спектроскопия. Методы возбуждения и зондирования. Временное разрешение. Генерация высоких гармоник. Аттосекундная оптика. Нелинейная нанофотоника. Метаповерхности. Интегральные нелинейно-оптические устройства.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Для успешного обучения по данной дисциплине студент должен знать: основные понятия атомной физики, квантовой механики. В курсе освещаются следующие темы: Границы применимости линейной оптики. Интенсивность света и напряженность электрического поля. Характерные масштабы оптических полей. Классификация нелинейно-оптических явлений. Поляризация вещества. Ангармонизм движения связанных электронов. Электронные, ионные, ориентационные и тепловые механизмы нелинейности. Модель ангармонического осциллятора. Квадратичная и кубическая нелинейности. Возникновение высших гармоник. Частотная зависимость отклика. Разложение поляризации по степеням электрического поля. Восприимчивости второго и третьего порядков. Дисперсия, действительная и мнимая части восприимчивости. Тензорное описание нелинейного отклика. Симметрия кристаллов. Правила отбора для нелинейных восприимчивостей. Поверхностная и объемная нелинейность. Взаимодействие излучения с квантовыми системами. Дипольные переходы. Реальные и

виртуальные состояния. Резонансное усиление нелинейного отклика. Двухуровневая система. Населенности энергетических уровней. Насыщение поглощения. Интенсивностная зависимость оптических свойств. Времена релаксации. Дефазировка. Быстрые и медленные нелинейности. Отклик вещества на короткие лазерные импульсы. Двухфотонное и многофотонное поглощение. Насыщаемое и обратное насыщаемое поглощение. Фотоинизация интенсивным излучением. Нелинейная поляризация как источник излучения. Генерация гармоник. Смешение частот. Законы сохранения энергии и импульса. Физический смысл фазового синхронизма. Фазовая и групповая скорости. Дисперсия групповой скорости. Двулучепреломление. Влияние дисперсии на взаимодействие оптических волн. Оптический эффект Керра. Нелинейная рефракция. Физические предпосылки самофокусировки и фазовой самомодуляции. Нелинейности газов, жидкостей и твердых тел. Влияние электронной структуры, молекулярной поляризуемости и симметрии вещества. Межзонные переходы. Экситонные эффекты. Квантовые ямы и квантовые точки. Локальные поля и плазмонные резонансы. Измерение нелинейных восприимчивостей. Нелинейная оптическая спектроскопия. Методы возбуждения и зондирования. Временное разрешение. Генерация высоких гармоник. Аттосекундная оптика. Нелинейная нанофотоника. Метаповерхности. Интегральные нелинейно-оптические устройства.

Автор(ы):

Масалов Анатолий Викторович, д.ф.-м.н., профессор