

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 ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ОПТИКА КРИСТАЛЛОВ И ОПТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
3	3	108	24	8	0		40	0	Э
Итого	3	108	24	8	0	0	40	0	

АННОТАЦИЯ

Программа учебной дисциплины «Оптика кристаллов и оптические материалы» предназначена для изучения теории нелинейного преобразование света в кристаллах. Назначение программы учебной дисциплины состоит в повышении уровня подготовки специалистов, расширении их научного кругозора с учетом возрастающей роли лазеров в современных фундаментальных физических исследованиях и прикладных задачах

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины «Оптика кристаллов и оптические материалы» является получение знаний, необходимых для успешной профессиональной деятельности в области исследований, разработок и технологий, направленных на понимание процессов, происходящих в области фотоники; при этом основное внимание уделяется линейному и нелинейному взаимодействию электромагнитного излучения (в основном и оптическом диапазоне) в оптических кристаллах и оптических материалах.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана со следующими дисциплинами: фотоника, взаимодействие излучения с веществом. Назначение программы учебной дисциплины состоит в повышении уровня подготовки специалистов, расширении их научного кругозора с учетом возрастающей роли оптических материалов в современных фундаментальных физических исследованиях и прикладных задачах. Изучение дисциплины позволит студентам получить и развить навыки проведения экспериментальных исследований в области фотоники и нелинейной оптики.

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			
формулирование задачи и плана научного	процессы взаимодействия лазерного излучения	ПК-1.4 [1] - способен ставить экспериментальные	З-ПК-1.4[1] - Знать: основные методы экспериментальных

<p>исследования в области лазерной физики, техники и лазерных технологий на основе проведения библиографической работы с применением современных информационных технологий; построение математических моделей объектов исследования, выбор алгоритма решения задачи; теоретические и экспериментальные исследования в области физики лазеров, взаимодействия лазерного излучения с веществом, лазерных технологий; разработка методов лазерной диагностики сред и объектов, лазерных медицинских технологий и технологий обработки материалов; оптических информационных технологий; разработка лазерных приборов и технологических систем различного назначения проведение оптических, фотометрических, электрических измерений с выбором технических средств и обработкой результатов; оформление отчетов, статей, рефератов на базе современных</p>	<p>с веществом, включая биологические объекты; лазерные приборы, системы и технологии различного назначения; процессы генерации, усиления, модуляции, распространения и детектирования лазерного излучения; элементная база лазерной техники, технологий и систем управления и транспорта лазерного излучения; математические модели объектов исследования; методы лазерно-физических измерений</p>	<p>задачи и проводить экспериментальные исследования в области взаимодействия излучения с веществом, лазерной диагностики и лазерных технологий; применять современные средства измерений, средства управления экспериментом, сбора и обработки данных</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>исследований с применением лазеров, методы сбора и обработки данных; У-ПК-1.4[1] - Уметь: ставить экспериментальные задачи и проводить экспериментальные исследования в области взаимодействия излучения с веществом, лазерной диагностики и лазерных технологий; применять современные средства измерений, средства управления экспериментом, сбора и обработки данных; В-ПК-1.4[1] - Владеть: навыками проведения экспериментальных исследований в области лазерной физики и лазерных технологий, применения современных средств измерений</p>
--	---	---	---

средств редактирования и печати в соответствии с установленными требованиями			
проектно-конструкторский			
анализ состояния научно технической проблемы, составление технического задания; постановка цели и задач проектирования лазерной техники и лазерных технологий на основе подбора и изучения литературных и патентных источников; разработка функциональных и структурных схем лазерной техники и лазерных технологий с определением их физических принципов действия, структур и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы; проектирование и конструирование лазерных приборов, систем, комплексов и технологий с использованием средств компьютерного проектирования, проведением проектных расчетов и технико-экономического обоснования.	Лазерные приборы, системы и технологии различного назначения; элементная база лазерной техники, технологий, систем управления и транспорта лазерного излучения	ПК-4 [1] - способен проектировать и конструировать узлы, блоки лазерных приборов, систем и комплексов с использованием средств компьютерного проектирования, проводить проектные расчеты и выполнять технико-экономическое обоснование <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-4[1] - Знать: особенности и области применения лазерной техники и лазерных технологий; правила оформления проектной и конструкторской документации ; У-ПК-4[1] - Уметь: анализировать технические требования, предъявляемые к разрабатываемым узлам, блокам лазерных приборов и систем; проводить концептуальную и проектную проработку типовых систем, приборов, деталей и узлов; представлять и оформлять результаты проектно-конструкторской деятельности ; В-ПК-4[1] - Владеть: методами компьютерного проектирования и расчета; навыками проектирования и конструирования типовых узлов и блоков лазерных приборов и систем
производственно-технологический			
проектирование, разработка и внедрение лазерных	Лазерные технологии, использующие	ПК-6 [1] - способен проектировать, разрабатывать и	З-ПК-6[1] - Знать: типичные требования, предъявляемые к

	<i>3 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	12/4/0		25	КИ-8	3-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-1.4, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
2	Второй раздел	9-16	12/4/0		25	КИ-16	3-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-1.4, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		24/8/0		50		
	Контрольные мероприятия за 3 Семестр				50	Э	3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-1.4, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4

* – 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
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	24	8	0
1-8	Первый раздел	12	4	0
1	Тема 1 Классификация оптических материалов. Распространение оптического излучения при прохождении через вещество. Оптические явления на границе двух сред. Закон Брюстера. Рассеяние света материалами. Люминесценция	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

2 - 3	Тема 2 Характерные особенности оптического стекла. Теория строения стекла. Физико-химические характеристики и технологические свойства оптических стекол. Определение остаточных напряжений в стекле. Термические и термооптические характеристики стекла	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
0	0	0		
4 - 5	Тема 3 Оптика анизотропных кристаллов. Уравнения Максвелла, волновой и лучевой векторы, тензор диэлектрической проницаемости. Сфера Пуанкаре. Координаты векторов индукции поля в кристаллах. Законы преломления-отражения Снеллиуса	Всего аудиторных часов		
		3	1	0
		Онлайн		
0	0	0		
6	Тема 4 Линейный электрооптический эффект и характеристики электрооптического качества кристаллов. Квадратичный электрооптический эффект Поляризационно-оптические затворы и модуляторы света. Электрооптические дефлекторы. Электрооптические затворы на регулярной доменной структуре.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
0	0	0		
7	Тема 5 Нелинейные сложения оптических частот в кристаллах. Тензор нелинейной восприимчивости. Стандартные схемы сложения частот. Требования к нелинейным кристаллам. Кристаллы нелинейной оптики	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
0	0	0		
8	Тема 6 Оптическая неоднородность кристаллов ниобата лития. Нелинейно-оптические свойства кристаллов ниобата лития. Преобразование излучения из ИК-области спектра в видимую область в кристаллах ниобата лития.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
0	0	0		
9-16	Второй раздел	12	4	0
9	Тема 7. Структура и основные свойства кристаллов группы KDP. Кристаллы иодата лития. Нелинейно-оптические свойства кристаллов КТР. Кристаллы группы боратов	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
0	0	0		
10 - 11	Тема 8. Акустооптическая дифракция Брэгга в анизотропных кристаллах. Коллинеарное акустооптическое взаимодействие. Влияние синхронизма на эффективность дифракции. Основные области применения акустооптического взаимодействия	Всего аудиторных часов		
		3	1	0
		Онлайн		
0	0	0		
12	Тема 9 Кристаллы в акустооптике: монокристаллический кварц, парателлуриит, молибдаты щелочноземельных ионов. Дефекты структуры кристаллов. Выращивание кристаллов и их возможности их применения в акустооптике.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
0	0	0		
13	Тема 10 Фоторефрактивный эффект в кристаллах. Механизмы возникновения пространственного заряда. Возможность ослабления фоторефракции. Применения фоторефрактивного эффекта	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
0	0	0		
14	Тема 11	Всего аудиторных часов		

	Фотонные кристаллы. Классификация фотонных кристаллов. Дисперсионное уравнение для одномерных фотонных кристаллов. Фотонные кристаллы со структурными дефектами	1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	Тема 12 Двумерные и трехмерные фотонные кристаллы. Волноводное распространение света. Перестраиваемые фотонные кристаллы. Магнитооптические эффекты в фотонных кристаллах. Области применения фотонных кристаллов	Всего аудиторных часов		
		4	0	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

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Используются современные предметно- и личностно-ориентированные образовательные технологии, интерактивные технологии.

6. 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-1.4	З-ПК-1.4	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1.4	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1.4	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-6	З-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-16

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:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ 3-43 Оптические материалы : учебное пособие, Точилина Т. В., Кривоустова Е. В., Зверев В. А., Санкт-Петербург: Лань, 2021
2. ЭИ С 78 Основы оптики : учебное пособие, Башнина Г. Л., Стафеев С. К., Боярский К. К., Санкт-Петербург: Лань, 2021

3. ЭИ М 64 Теоретические основы оптико-электронных приборов : учебное пособие, Мирошников М. М., Санкт-Петербург: Лань, 2021

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 52 М17 Изготовление и исследование астрономической оптики : , Максutow Д.Д., М.: Наука, 1984
2. 536 Б82 Основы оптики : , Вольф Э., Борн М., М.: Наука, 1970
3. 681.7 С74 Справочник конструктора оптико-механических приборов : , Кулагин В.В. [и др.], Л.: Машиностроение, 1980

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Предполагается, что студенты знакомы с содержанием основных разделов курсов «Высшая математика», «Общая физика», «Квантовая механика», «Атомная физика», «Фотоника».

Курс посвящен изучению нелинейного преобразование света в кристаллах. Назначение программы учебной дисциплины состоит в повышении уровня подготовки специалистов, расширении их научного кругозора с учетом возрастающей роли оптических материалов в современных фундаментальных физических исследованиях и прикладных задачах.

При изучении курса «Оптика кристаллов и оптические материалы» необходимо разобраться в следующих вопросах.

Классификация оптических материалов. Распространение оптического излучения при прохождении через вещество. Оптические явления на границе двух сред. Закон Брюстера. Рассеяние света материалами. Люминесценция.

Характерные особенности оптического стекла. Теория строения стекла. Физико-химические характеристики и технологические свойства оптических стекол. Определение остаточных напряжений в стекле. Термические и термооптические характеристики стекла

Оптика анизотропных кристаллов. Уравнения Максвелла, волновой и лучевой векторы, тензор диэлектрической проницаемости. Сфера Пуанкаре. Координаты векторов индукции поля в кристаллах. Законы преломления-отражения Снеллиуса.

Линейный электрооптический эффект и характеристики электрооптического качества кристаллов. Квадратичный электрооптический эффект Поляризационно-оптические затворы и модуляторы света. Электрооптические дефлекторы. Электрооптические затворы на регулярной доменной структуре.

Нелинейные сложения оптических частот в кристаллах. Тензор нелинейной восприимчивости. Стандартные схемы сложения частот. Требования к нелинейным кристаллам. Кристаллы нелинейной оптики.

Оптическая неоднородность кристаллов ниобата лития. Нелинейно-оптические свойства кристаллов ниобата лития. Преобразование излучения из ИК-области спектра в видимую область в кристаллах ниобата лития.

Структура и основные свойства кристаллов группы KDP. Кристаллы иодата лития. Нелинейно-оптические свойства кристаллов KTP. Кристаллы группы боратов.

Акустооптическая дифракция Брэгга в анизотропных кристаллах. Коллинеарное акустооптическое взаимодействие. Влияние синхронизма на эффективность дифракции. Основные области применения акустооптического взаимодействия.

Кристаллы в акустооптике: монокристаллический кварц, парателлурит, молибдаты щелочноземельных ионов. Дефекты структуры кристаллов. Выращивание кристаллов и их возможности их применения в акустооптике.

Фоторефрактивный эффект в кристаллах. Механизмы возникновения пространственного заряда. Возможность ослабления фоторефракции. Применения фоторефрактивного эффекта.

Фотонные кристаллы. Классификация фотонных кристаллов. Дисперсионное уравнение для одномерных фотонных кристаллов. Фотонные кристаллы со структурными дефектами.

Двумерные и трехмерные фотонные кристаллы. Волноводное распространение света. Перестраиваемые фотонные кристаллы. Магнитооптические эффекты в фотонных кристаллах. Области применения фотонных кристаллов фотонных кристаллов.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Целью курса является изучение нелинейного преобразования света в кристаллах. Назначение программы учебной дисциплины состоит в повышении уровня подготовки специалистов, расширении их научного кругозора с учетом возрастающей роли оптических материалов в современных фундаментальных физических исследованиях и прикладных задачах.

Необходимо дать возможность студентам разобраться в следующих вопросах.

Классификация оптических материалов. Распространение оптического излучения при прохождении через вещество. Оптические явления на границе двух сред. Закон Брюстера. Рассеяние света материалами. Люминесценция.

Характерные особенности оптического стекла. Теория строения стекла. Физико-химические характеристики и технологические свойства оптических стекол. Определение остаточных напряжений в стекле. Термические и термооптические характеристики стекла

Оптика анизотропных кристаллов. Уравнения Максвелла, волновой и лучевой векторы, тензор диэлектрической проницаемости. Сфера Пуанкаре. Координаты векторов индукции поля в кристаллах. Законы преломления-отражения Снеллиуса.

Линейный электрооптический эффект и характеристики электрооптического качества кристаллов. Квадратичный электрооптический эффект Поляризационно-оптические затворы и модуляторы света. Электрооптические дефлекторы. Электрооптические затворы на регулярной доменной структуре.

Нелинейные сложения оптических частот в кристаллах. Тензор нелинейной восприимчивости. Стандартные схемы сложения частот. Требования к нелинейным кристаллам. Кристаллы нелинейной оптики.

Оптическая неоднородность кристаллов ниобата лития. Нелинейно-оптические свойства кристаллов ниобата лития. Преобразование излучения из ИК-области спектра в видимую область в кристаллах ниобата лития.

Структура и основные свойства кристаллов группы KDP. Кристаллы иодата лития. Нелинейно-оптические свойства кристаллов KTP. Кристаллы группы боратов.

Акустооптическая дифракция Брэгга в анизотропных кристаллах. Коллинеарное акустооптическое взаимодействие. Влияние синхронизма на эффективность дифракции. Основные области применения акустооптического взаимодействия.

Кристаллы в акустооптике: монокристаллический кварц, парателлурит, молибдаты щелочноземельных ионов. Дефекты структуры кристаллов. Выращивание кристаллов и их возможности их применения в акустооптике.

Фоторефрактивный эффект в кристаллах. Механизмы возникновения пространственного заряда. Возможность ослабления фоторефракции. Применения фоторефрактивного эффекта.

Фотонные кристаллы. Классификация фотонных кристаллов. Дисперсионное уравнение для одномерных фотонных кристаллов. Фотонные кристаллы со структурными дефектами.

Двумерные и трехмерные фотонные кристаллы. Волноводное распространение света. Перестраиваемые фотонные кристаллы. Магнитооптические эффекты в фотонных кристаллах. Области применения фотонных кристаллов фотонных кристаллов.

Курс содержит лекции и практические занятия. На практических занятиях следует разбирать сложные вопросы, вызвавшие затруднение на лекциях, а также решать громоздкие задачи, связанные с текущей темой.

Для поддержания интереса студентов к темам курса, следует постоянно делать обзоры современного состояния тематики, рассказывать новые работы, выполненные в институтах Российской академии наук, университетах и научных центрах, в том числе зарубежных, и статьи в соответствующих научных журналах.

Автор(ы):

Евтихий Николай Николаевич, д.ф.-м.н., профессор