

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Саровский физико-технический институт -
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

УТВЕРЖДАЮ
Декан физико-технического
факультета СарФТИ НИЯУ
МИФИ

_____ А.К.Чернышев
«...» _____ 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Лазерное излучение в физическом эксперименте

(наименование дисциплины)

Направление подготовки (специальность) 03.03.01 Прикладные математика и физика

Профиль подготовки Фундаментальная и прикладная физика

Квалификация (степень) выпускника _____ бакалавр

Форма обучения _____ очная

Автор _____ д.ф.-м.н. С.П. Мельников

Рецензент _____ д.ф.-м.н. С.Н. Абрамович

Зав. кафедрой ЯРФ _____ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Руководитель ОПП _____ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и ОС НИЯУ
МИФИ (актуализирован Ученым советом университета, Протокол №21/11 от
28.07.2023 г)

Программа актуализирована на заседании кафедры
Ядерной и радиационной физики
от 30.08.23 протокол №1
и радиационной физики

г. Саров, 2023 г.

1. Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Цель изучения дисциплины – дать студентам необходимый минимум сведений по квантовой электронике, а именно: физические основы квантовой электроники, принципы усиления и генерации оптического излучения, основные свойства лазерного излучения, основы физики взаимодействия лазерного излучения с веществом и применение его в физических экспериментах.

Задачи дисциплины:

- дать представление о месте и роли квантовой электроники в современной науке и технике, а также об истории возникновения квантовой электроники как раздела физики;
- сообщить сведения о процессах, приводящих к образованию инверсной населенности уровней в различных лазерных средах и принципах работы лазеров;
- ознакомить с особенностями лазерного излучения и его взаимодействия с веществом;
- ознакомить с важнейшими проблемами квантовой электроники;
- стимулировать развитие способности к самостоятельному поиску и обработке научной информации.

В итоге изучения курса студент должен освоить основной фактический материал, научиться работать с научной периодикой, овладеть техникой представления результатов в виде доклада, научно-технического отчёта, статьи в научное издание.

2. Место учебной дисциплины в структуре ООП

Курс «Лазерное излучение в физическом эксперименте» предназначен для студентов 3 курса (6 семестр обучения). Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам общей физики и университетскому курсу математики.

Знания, полученные при изучении курса «Лазерное излучение в физическом эксперименте» необходимы для многих специализированных дисциплин по теоретической и экспериментальной физике, изучаемых студентами старших курсов.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Курс направлен на формирование следующих **профессиональных и профильных профессиональных компетенций** бакалавра по направлению 03.03.01 Прикладные математика и физика:

ПК-1- способен проводить сбор, анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;

ПК-2 - способен выбирать и применять необходимое оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области

ПК-4 - способен критически оценивать применяемые методики и методы исследования;

ПК-8.1- способен самостоятельно и в составе группы проводить научные исследования в области ядерной и радиационной физики с применением экспериментальных методов, методов имитационного моделирования, статистических методов обработки экспериментальных данных, методов компьютерного моделирования процессов и объектов

ПК-8.2 - способен к участию в проведении измерений, выполнении экспериментов на ядерно- и электрофизических установках – источниках излучения, высоковольтном и измерительном оборудовании

Студент должен:

Знать:

3-ПК-1 Знать способы сбора, анализа научно- технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования.

3-ПК-2 Знать современное оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области.

3-ПК-4 Знать основные методики и методы исследования в сфере своей профессиональной деятельности

3-ПК-8.1 знать нормы и правила ядерной и радиационной безопасности

3-ПК-8.2 знать порядок проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

Уметь:

У-ПК-1 Уметь синтезировать и анализировать научно-техническую информацию по тематике исследования.

У-ПК-2 Уметь критически оценивать, выбирать оборудования, инструментов и методов исследований в избранной предметной области

У-ПК-4 Уметь анализировать и критически оценивать применяемые методики и методы исследования.

У-ПК-8.1 уметь проводить расчетные исследования на сертифицированных кодах в рамках поставленной задачи, оценивать погрешность результатов измерений

У-ПК-8.2 уметь создавать математические модели процессов, протекающих в экспериментальных стендах и установках

Владеть:

В-ПК-1 Владеть навыками сбора, синтеза и анализа научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования.

В-ПК-2 Владеть навыками выбора и применения оборудования, инструменты и методы исследований для решения в задач избранной предметной области

В-ПК-4 Владеть навыками выбора и критической оценки применяемых методик и методов исследования в сфере своей профессиональной деятельности

В-ПК-8.1 владеть навыками проведения экспериментов на установках и стендах, сопоставления расчетных и экспериментальных данных

В-ПК-8.2 владеть навыками обработки результатов исследований

В результате изучения курса «Лазерное излучение в физическом эксперименте» студенты будут иметь современные представления о физических принципах работы квантовых оптических генераторов, основных свойствах лазерного излучения и особенностях взаимодействия этого излучения с веществом, а также о наиболее важных применениях лазеров и лазерных технологий. Усвоенные знания позволят студентам применять их на практике в научных исследованиях.

4. Структура и содержание учебной дисциплины

«Лазерное излучение в физическом эксперименте»

4.1. Структура учебной дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 ЗЕ: 144 часа (16 часов – лекции;

32 часа – практические занятия, включая обучение в интерактивной форме – 8

часов, 60 часов – самостоятельная работа студентов).

Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности			Текущий контроль успеваемости	Балл за раздел
		Лекции Нед. (час)	Практика Нед. (час)	Самост. Нед. (час)		
1. Основы физики лазеров и св-ва лазерного излучения					Обсуждение вопросов, тем, ответы на контрольные вопросы	15
1.1 Принципы работы лазеров. Индуцированное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Инверсная населенность. Усиление и генерация лазерного излучения.	1	1(2)	1(2)	1(2)		

1.2 Типы лазеров. Виды активных сред. Режимы работы. Характерные значения параметров различных типов лазеров.	2		2(2)	2(2)		
1.3 Энергетические параметры лазерного излучения и методы их измерения.	3	3(2)	3(2)	3(2)	Контрольная работа №1	
1.4 Пространственные параметры лазерного излучения и методы их измерения.	4		4(2)	4(2)		
1.5 Спектральные параметры лазерного излучения и методы их измерения.	5	5(2)	5(2)	5(2)		
1.6.1 Транспортировка лазерного излучения. Часть 1. Зеркала и оптические элементы 1.6.2 Транспортировка лазерного излучения. Часть 2 Оптоволокно. Оптоволоконная лазерная техника	6	6(2)	6(2)	6(2)	Контрольная работа №2	15
2. Основные методы измерений с использованием лазерного излучения. Применение лазерного излучения.					Обсуждение вопросов, тем, ответы на контрольные вопросы, участие в дискуссии	
2.1 Методы измерения расстояний и пространственной структуры	7		7(2)	7(2)		
2.2 Методы измерения скоростей	8	8(2)	8(2)	8(2)		
2.3 Распространение электромагнитного излучения в прозрачных средах. Механизмы поглощения и рассеяния оптического излучения.	9		9(2)	9(2)		
2.4 Особенности распространения лазерного излучения в прозрачных средах. Нелинейная оптика. Получение гармоник лазерного излучения.	10	10(2)	10(2)	10(2)		
2.5 Лазерная спектроскопия. Применение лазеров в фотохимии. Лазерное разделение изотопов.	11		11(2)	11(2)	Дискуссия	
2.6 Воздействие лазерного излучения на непрозрачные среды.	12	12(2)	12(2)	12(3)		
2.7 Использование мощного лазерного излучения для исследования экстремального состояния вещества. Лазерный	13		13(2)	13(3)	Дискуссия	

термоядерный синтез.						
2.8 Особенности воздействия импульсного лазерного излучения сверхкороткой длительности на непрозрачные среды. Лазерная модификация поверхности. Генерация ударных волн	14	14(2)	14(2)	14(3)	Дискуссия	
2.9 Оптическая прочность элементов лазерных систем.	15		15(2)	15(3)	Дискуссия	
2.10 Инновационные применения лазерного излучения. Лазерный пинцет. Лазерное охлаждение. Создание запутанных квантовых состояний с помощью лазерного излучения. 2.11 Основы техники безопасности при работе с лазерным излучением.	16	16(2)	16(2)	16(2)	Итоговый тест Подведение итогов СРС*	
Работа в семестре:						
Контрольные работы	3,6	8(16)	16(32)			30
СРС	16					5
Итоговое тестирование	16					10
Участие в дискуссиях	11,1 3-15					5
Экзамен				22		5
Итоги за семестр						50
		16	32	60		100

*Проверка СРС осуществляется в течение всего семестра, преподаватель задает вопросы из списка дополнительных вопросов для СРС по соответствующей теме. В случае достаточного полного и правильного ответа студент получает 1 балл. Либо в начале семестра студент по согласованию с преподавателем определяет отдельную индивидуальную тему, по данной теме студент выпускает реферат и готовит презентацию, которая докладывается перед сокурсниками. Оценки за реферат и устные ответы могут суммироваться. (Максимальная оценка за СРС 5 баллов)

4.2. Содержание разделов учебной дисциплины

Часть I. Основы физики лазеров и св-ва лазерного излучения

Тема 1. Принципы работы лазеров. Индуцированное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Инверсная населенность. Усиление и генерация лазерного излучения.

Квантовая электроника – область физики, изучающая методы усиления и генерации электромагнитного излучения путем использования эффекта индуцированного испускания излучения в термодинамически неравновесных системах, свойства получаемых таким образом усилителей и генераторов и их применения.

В теме раскрываются физические принципы усиления света, создания инверсной населенности в активной лазерной среде, устройство квантового генератора и условия генерации в зависимости от параметров простейшего оптического резонатора

Кроме того, по мере раскрытия физических принципов дается краткая историческая справка об основных вехах и событиях, способствовавших возникновению лазерной техники. А именно введение понятия индуцированного излучения, появление понятия нелинейной оптики (Вавилов), появление первых мазеров и лазеров. Справка о работах А.Эйнштейна (о возможности усиления света 1916) и заявке на изобретения В.А.Фабриканта со своими сотрудниками о "новом способе усиления электромагнитного излучения УФ, видимого, ИК и радиодиапазонов", которая была опубликована только в 1959 году. Нобелевская премия Н.Г. Басова и А.М. Прохорова и Ч.Таунса за квантовые генераторы.

Тема 2. Типы лазеров. Виды активных сред. Режимы работы. Характерные значения параметров различных типов лазеров.

Краткая классификация лазеров по активной среде (газовые, твердотельные жидкостные,), способам накачки активной среды (как классическим – оптический, сильноточный газоразрядный, тлеющий разряд, так и более специфическим - фотоионизационным, химическим, газодинамическим, накачка электронным пучком, ядерная накачка (реактор-лазер) и т.д. Классификация дается параллельно с исторической справкой, когда и кем были созданы первые лазеры данного типа. Дана классификация лазеров по типу квантовых переходов – лазеры на электронных переходах, колебательных и колебательно-вращательных переходах. При классификации даются особенности рассматриваемых лазеров, области их применения, плюсы и минусы использования.

В данной теме раскрыто влияние активной среды на интенсивность выходного излучения в стационарных процессах с увеличением мощности накачивающего излучения – при малых мощностях накачки экспоненциальная зависимость от длины усилителя (закон Бугера-Ламберта-Бера), затем с ростом влияния эффекта насыщения линейная зависимость и наконец исчезновение эффекта усиления при достижении условий компенсации усиления потерями в усилителе.

Понятие нестационарного процесса лазерного усиления. Методы управления импульсным лазерным излучением, понятие гигантского импульса и модуляции добротности.

Тема 3. Энергетические параметры лазерного излучения и методы их измерения.

Под энергетическими параметрами понимается энергия, мощность и плотность мощности лазерного излучения. В данном разделе приводятся определения данных физических величин, единицы измерения, взаимосвязь между ними. Рассматриваются основные методы их измерения: калориметрический; фотоэлектрический; фотохимический. Приводятся диапазоны применимости данных методов, а также описываются измерительные схемы, используемые на практике.

Тема 4. Пространственные параметры лазерного излучения и методы их измерения.

Под пространственными параметрами лазерного излучения понимаются угловая расходимость, поперечное распределение интенсивности в пучке, поляризация лазерного излучения. При описании данных характеристик дается понятие о модовой структуре лазерного излучения, ближней и дальней зоне излучающей апертуры. Рассматриваются факторы, влияющие на угловую расходимость лазерного излучения, а также указывается дифракционный предел угловой расходимости. Описываются основные методы измерения поперечного распределения интенсивности по пучку: фотографирование и сканирование пучка. Описываются особенности применения скоростной фотосъемки для исследования

изменение пространственной структуры лазерного излучения во времени. Приводится метод анализа поляризации лазерного излучения.

Тема 5. Спектральные и временные параметры лазерного излучения и методы их измерения.

Под спектральными параметрами лазерного излучения понимается его спектральный состав. Под временными параметрами - длительность импульсного лазерного излучения, а также когерентность. В ходе разбора данной темы дается понятие о ширине линии, продольных модах, пространственной и временной когерентности лазерного излучения. Рассматриваются причины уширения линии излучения (однородное естественное однородное релаксационное, уширение за счет эффектов Штарка и Зеемана, неоднородное Доплеровское). Принципы работы спектрографов, монохроматоров, интерферометров. Описываются методы измерения времени и длины когерентности. Показывается связь между шириной линии излучения и когерентностью. Приводятся методы измерения длительности коротких лазерных импульсов.

Тема 6. Транспортировка лазерного излучения. Зеркала и оптические элементы. Оптоволоконно. Оптоволоконная лазерная техника

Важной и повсеместно встречающейся задачей в лазерной технике является передачи лазерного излучения от излучающей установки к объекту воздействия. При этом в большинстве случаев кроме тривиального изменения направления при транспортировке необходимо выполнять преобразования лазерного излучения для достижения или сохранения необходимых параметров. К таким преобразованиям можно отнести ослабление излучения, расщепления, фокусировку, телескопическое сжатие и расширение, а также прерывание излучения, его модуляцию и поворот поляризации излучения. В данном разделе рассмотрены отклоняющие, отражающие, и диспергирующие элементы, применяемые в лазерной технике. Зеркала с металлическим покрытием и диэлектрические зеркала. Описаны методы расщепления пучка, ослабления и фокусировки. Приведены типичные оптические схемы, применяемые на практике.

Оптоволоконная техника – новая динамично развивающаяся область транспортировки излучения, нашедшая широкое применение в практических задачах. В данном разделе рассматриваются физические принципы и преимущества передачи излучения по оптоволокну. Приводятся структуры существующих типов оптоволокон, их характеристики и область применения. Описываются оптоволоконные элементы, предназначенные для деления, сложения, ослабления и усиления излучения. Рассматриваются сложности, связанные с заведением лазерного излучения в волокно и методы их решения. Описываются принципы работы и устройство оптоволоконных лазеров и усилителей. Приводятся примеры применения оптоволоконной техники в экспериментальной практике.

Часть II. Основные методы измерений с использованием лазерного излучения. **Применение лазерного излучения.**

Тема 1. Методы измерения расстояний и пространственной структуры

В данном разделе рассматриваются принципы работы лазерных дальномеров. Приводятся сравнение характеристик двух различных типов лазерных дальномеров – импульсных и фазовых. Приводятся особенности работы данных устройств, связанные с влиянием атмосферы на зондирующее лазерное излучение.

В рамках описания методов измерения пространственной структуры рассматриваются интерферометрические и голографические методики. Отмечается, как

возникновения лазеров качественно изменило возможности данных методов. Описываются принципы лазерной голографии и возможные области ее применения.

Тема 2. Методы измерения скоростей, основанные на свойствах лазерного излучения.

В данном разделе рассматриваются интерферометрические методы измерения скоростей, основанные на эффекте Доплеровского смещения частоты электромагнитного излучения при отражении от движущегося объекта. Показана эволюция интерферометрических методов на примере разбора методик VISAR, ORVIS, PDV. Приводятся сравнительные характеристики методов и области применения. Наиболее глубоко описывается, получившая широкое распространение, методика PDV. В рамках ее рассмотрения, значительный акцент делается на применяемый в обработке экспериментальных данных математический аппарат - оконное Фурье преобразование. Рассматриваются применяемые в экспериментальной практике измерительные схемы, с примерами сигналов и результатом их обработки.

Тема 3. Распространение электромагнитного излучения в прозрачных средах. Механизмы поглощения и рассеяния оптического излучения.

В данной теме описан процесс распространения электромагнитного излучения в среде с позиции индуцированной поляризации. Показана возможность описания индуцированной поляризации в линейном приближении в случае слабых интенсивностей электромагнитного поля, а также рассмотрены вытекающие из этого приближения законы классической оптики. Приводятся основные механизмы поглощения и рассеяния оптического излучения веществом, и сравнивается их вклад в различных условиях. Рассматривается закон поглощения Бугера -Ламберта-Бера и частные случаи отклонения от него.

Тема 4 Особенности распространения лазерного излучения в прозрачных средах. Нелинейная оптика. Получение гармоник лазерного излучения.

В данном разделе продолжается рассмотрение процесса распространения электромагнитного излучения с учетом особенностей лазерного излучения: высокой интенсивности и когерентности. При этом в описании нельзя ограничиться линейным членом в разложении индуцированной поляризации по амплитуде возбуждающего электрического поля. Это приводит к ряду новых эффектов, не наблюдающихся в линейном случае: нелинейное поглощение, самофокусировка и самодефокусировка, вынужденное комбинационное рассеяние, генерация высших гармоник излучения. Приводится описание данных эффектов и примеры их использования. Особо рассматриваются применяемые схемы генерации второй и третьей гармоник лазерного излучения, так как их получение один из важных способов управления параметрами лазерного излучения.

Тема 5. Лазерная спектроскопия. Применение лазеров в фотохимии. Лазерное разделение изотопов.

При рассмотрении данной темы делается акцент на ряде свойств лазерного излучения, сделавших его идеальным инструментом для селективного возбуждения электронных уровней атомов и молекул, а также их фотоионизации. Дается понятие о спектроскопии и основных ее методах. Приводится круг основных задач, поставленный в рамках спектроскопических исследований. Описываются специфические спектроскопические методы, связанные с использованием лазерного излучения: нелинейная спектроскопия, внутрирезонаторная лазерная спектроскопия, импульсная спектроскопия, многофотонное возбуждение и ионизация. Рассматриваются примеры использования лазерного излучения в фотохимии и при разделении изотопов.

Тема 6 Воздействие лазерного излучения на непрозрачные среды.

В отличие от случая прозрачных сред, поглощение оптического излучения непрозрачными средами происходит в очень тонком поверхностном слое. Высокая интенсивность, достигаемая в случае лазерного излучения, обуславливает большое число разнообразных эффектов. К таким эффектам можно отнести нагрев и фазовые переходы, обусловленные им – плавление, испарение и ионизацию с образованием плазмы. При рассмотрении данных эффектов ключевыми параметрами являются плотность мощности излучения и длительность лазерного излучения. Приводятся характерные пороги совокупности данных параметров, определяющие различные режимы воздействия, а также модели количественно описывающие процессы при этом протекающие.

Тема 7 Использование мощного лазерного излучения для исследования экстремального состояния вещества. Лазерный термоядерный синтез.

Высокая интенсивность лазерного излучения и возможность ее фокусировки в крайне малой области позволяет получать поглощаемые веществом плотности мощности в ранее не достижимом диапазоне. Так на передовых субпикосекундных лазерных установках достигаются плотности мощности порядка 10^{21} - 10^{22} Вт/см². Исследования свойств материи в таких условиях является важной задачей, как с точки зрения фундаментального описания космологических процессов на ранних этапах существования вселенной и экстремальных объектов (нейтронных звезд, пульсаров, черных дыр, взрывов сверхновых звезд), так и с точки зрения практического применения в областях энергетики, электрофизике высоких напряжений, синтеза сверхпрочных материалов. Одной из наиболее широко разработанных областей применения лазерного излучения сверхвысокой интенсивности являются исследования по получению управляемой реакции термоядерного синтеза в импульсном режиме – лазерный термоядерный синтез. В разделе рассматриваются история данной тематики, принципиальные схемы, используемые для сжатия термоядерного топлива, созданные установки и перспективы их развития.

Тема 8 Особенности воздействия импульсного лазерного излучения сверхкороткой длительности на непрозрачные среды. Лазерная модификация поверхности. Генерация ударных волн.

Характер воздействие лазерных импульсов субпикосекундной длительности существенно отличается от воздействия наносекундных и более длительных импульсов. Обусловлено это различие главным образом тем, что время воздействия становится короче времени термализации электронной компоненты с ионной. Это приводит к возникновению на короткий промежуток времени состояния вещества, в котором температуры ионной и электронной компоненты могут отличаться на порядки. Это приводит к набору эффектов, которые в настоящее время интенсивно изучаются. К частным случаям их проявления можно отнести различные виды модификации поверхности - развитие периодических наноструктур. Перспективной областью использования лазерного излучения сверхкороткой длительности также является неразрушающая чистка поверхности. Лазерное излучение короткой длительности и высокой интенсивности также является перспективным методом генерации ударных волн в веществе. Приводится описание механизмов генерации ударных волн в веществе лазерным излучением и получаемые при этом характеристики воздействия.

Тема 9. Оптическая стойкости элементов лазерных систем.

Рост интенсивности излучения при развитии лазерной техники сделал проблему стойкости оптических материалов крайне актуальной. Зачастую предел оптической стойкости выходных элементов ограничивает максимальную мощности лазерной системы. В данном разделе рассматриваются различные оптические материалы – кварц, виды оптических стекол, просветляющие покрытия. Даются их сравнительные характеристики. Описаны основные механизмы разрушения оптических материалов - тепловое разрушение и оптический пробой. Показаны факторы, влияющие на характер

повреждений оптических материалов при лазерном воздействии. Приводятся пороги пробоя для ряда оптических материалов.

Тема 10. Инновационные применения лазерного излучения. Лазерный пинцет. Лазерное охлаждение. Создание запутанных квантовых состояний с помощью лазерного излучения.

Лазерное излучение применяется в передовых научных исследованиях, в качестве высокоточного инструмента. В данном разделе рассматривается ряд специфичным примеров применения лазерного излучения в данном контексте. Первый рассматриваемый пример показывает возможность манипуляций микроскопическими объектами с помощью лазерного излучения. В основе данного явления лежит процесс взаимодействия индуцированного дипольного момента объекта с электрическим полем световой волны. Данный эффект позволяет создавать силы в диапазоне 10^{-15} – 10^{-9} Н и нашел широкое применение в биологических исследованиях. По тем же принципам работают оптические ловушки, позволяющие бесконтактно удерживать микрочастицы. Следующий пример – лазерное охлаждение, метод позволивший достичь минимальной абсолютной температуры, полученной в лабораторных условиях. В основе данного метода лежит специфические механизмы рассеяния лазерного излучения на объектах, при котором возрастает частота рассеиваемого излучения. Рассматриваются три механизма лазерного охлаждения: доплеровское, субдоплеровское и охлаждения ниже уровня отдачи. Приводятся схемы существующих установок по лазерному охлаждению. Наконец приводится пример использования лазерного излучения в квантовой информатике, для работы с запутанными кубитами. В рамках этой темы кратко описываются основы квантовой информатики и физические принципы инициализации, считывание и записи кубитов на базе ионов щелочных и щелочноземельных металлов.

Тема 11 Основы техники безопасности при работе с лазерным излучением. Мощные лазерные установки представляют высокую потенциальную опасность для здоровья эксплуатирующего персонала. В первую очередь лазерное излучение представляет опасность для органов зрения и кожного покрова человека. Рассматривается биологическое действие лазерного излучения в зависимости от спектрального состава, энергии и длительности излучения. Приводится классификация лазерных установок по степени опасности и особенности организации работ на них. Даются ссылки на действующую нормативную документацию, регламентирующую правила эксплуатации лазерных установок. Описываются действия по оказанию первой медицинской помощи при поражении лазерным излучением органов зрения и кожи.

4.3 Планы практических занятий

Цель практических занятий – закрепить основные (базовые) понятия и определения изучаемой темы, приобрести начальные навыки решения типовых задач по изучаемой теме.

Темы занятий:

1. Законы теплового излучения. Основные понятия квантовой электроники
2. Индуцированное излучение, коэффициенты Эйнштейна, ширина линии излучения.
3. Поглощение и усиление в активной среде. Усиление и генерация лазерного излучения
4. Открытые резонаторы
5. Методы измерения энергетических параметров лазерного излучения Способы накачки лазеров

6. Методы измерения пространственных параметров лазерного излучения
7. Спектральные параметры лазерного излучения
8. Транспортировка лазерного излучения. Юстировка оптических элементов. Оптический кардан. Оптоволокно.
9. Методы измерения расстояний. Лазерные дальномеры. Методы измерения скоростей, основанные на свойствах лазерного излучения.
10. Распространение света в прозрачных средах, рассеяние
11. Нелинейная оптика. Поляризация света. Спектроскопия.
12. Воздействие лазерного излучения на непрозрачные среды.
13. Использование мощного лазерного излучения для исследования экстремального состояния вещества. Генерация ударных волн.
14. Оптическая прочность элементов лазерных систем.
15. Применение лазеров в технологии. Инновационные применения лазерного излучения. Лазерный пинцет. Лазерное охлаждение. Создание запутанных квантовых состояний с помощью лазерного излучения.
16. Проблемы лазерного термоядерного синтеза. Основы техники безопасности при работе с лазерным излучением.

4.4. Интерактивные формы, используемые в реализации дисциплины

Раздел дисциплины (тема)	Интерактивная форма	Кол-во часов	Методы и средства контроля
Лазерная спектроскопия. Применение лазеров в фотохимии. Лазерное разделение изотопов.	Дискуссия (11 неделя)	2	Оценка активности участия студента (максимум 1 балл)
Мощные лазерные системы – особенности эксплуатации, проблемы и пути их решения (2 части)	Дискуссия (13,14 неделя)	2 2	Оценка активности участия студента (максимум по 1 баллу)
Инновационные применения лазерного излучения. Генерация ударных волн. Модификация поверхности. Лазерный пинцет. Лазерное охлаждение. Создание запутанных квантовых состояний с помощью лазерного излучения. (2 части)	Дискуссия (15 неделя)	2	Оценка активности участия студента (максимум 2 балла)

5. Самостоятельная работа студентов

Виды и формы самостоятельной работы:

- самостоятельный поиск литературы по разделам и темам курса;
- самостоятельное изучение тем, предложенных преподавателем;
- ответы на вопросы для обсуждения ;
- подготовка к тестированию, решению задач и упражнений;
- подготовка к экзамену.

Вопросы и задачи для СРС (самостоятельной работы студентов):

1. Что такое коэффициенты Эйнштейна?
2. Дать определение индуцированным и спонтанным переходам.
3. Что такое безызлучательные переходы и их влияние на инверсную населенность?
4. Каковы механизмы уширения спектральных линий?
5. Что такое открытый резонатор?
6. Перечислите известные вам режимы работы лазеров и дайте им определения?
7. Опишите особенности различных типов активных сред?
8. Назовите основные типы методов измерения мощности лазерного излучения?
9. В чем разница между временной и пространственной когерентностью?
10. В чем заключается механизм работы диэлектрических зеркал с многослойным покрытием?
11. На чем основан принцип электрооптической модуляции света?
12. Опишите отличия многомодового оптоволокна от одномодового?
13. В чем разница между принципами работы импульсных и фазовых лазерных дальномеров? Область применения?
14. Опишите физические и математические основы метода PDV?
15. При каких условиях можно ограничиться линейным приближением зависимости индуцированной поляризации вещества от электрического поля при описании распространения электромагнитного излучения?
16. Назовите известные вам эффекты, относящиеся к нелинейной оптике?
17. Опишите принцип получения высших гармоник лазерного излучения?
18. В чем преимущества использования лазерного излучения в оптической спектроскопии?
19. Какие факторы влияют на толщину слоя поглощения лазерного излучения в непрозрачных средах?
20. Опишите принцип, на котором основан лазерный термоядерный синтез?
21. Какие механизмы повреждения оптических элементов лазерным излучением вам известны?
22. Опишите принцип, на котором основано лазерное охлаждение?
23. Приведите классификацию лазерных установок по степени опасности?

6. Контрольно-измерительные материалы

Текущий и итоговый контроль знаний студентов:

- посещаемость лекций, практических занятий;

- поиск материала и выполнение индивидуальных заданий (СРС);
- активность на занятиях;
- выполнение контрольных работ;
- итоговый тест;
- сдача экзамена.

6. 1. ПРИМЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ИТОГОВОГО ТЕСТА

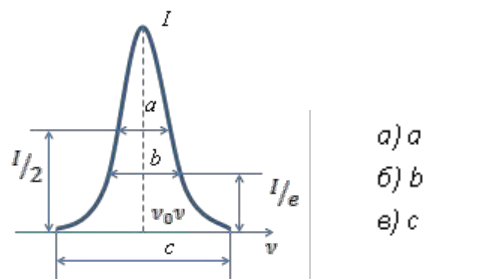
Для текущего контроля успеваемости проводится тест на последней неделе семестра в виде письменной работы. Тест составляется в нескольких вариантах (по количеству студентов) и содержит 10 вопросов, ниже предложены примерные вопросы по итоговому тесту. Правильный ответ на 1 вопрос – 1 балл. Максимальное количество баллов за тест – 10 баллов.

1. Что такое открытый резонатор?

Варианты ответа:

- а) полость с отражающими стенками
- б) устройство, отражающие стенки которого не замкнуты
- в) устройство с одной отражающей поверхностью

2. Какой из показанных величин, чаще всего, характеризуют уширение спектральной линии?



3. Какая из нижеперечисленных фраз научно-технического отчета полностью описывает относительное пространственное распределение интенсивности в пятне гауссова пучка

1. «Пятно луча имеет гауссово распределение, диаметр пятна по уровню $1/e$ - 3 мм»
2. «Диаметр пятна по уровню 0.5 - 3 мм, пятно имеет гауссово распределение»

Варианты ответа:

- а) только 1,
- б) только 2,
- в) оба эти выражения полностью описывают относительное пространственное распределение интенсивности в пятне

4. Режим синхронизации мод применяют для

Варианты ответа:

- а) Оптимизации процесса накопления инверсии на верхнем лазерном уровне
- б) Уменьшения ширины спектральной линии
- в) Уменьшения длительности лазерного импульса

5. Какая величина в конечном итоге определяет количество аксиальных мод в резонаторе

Варианты ответа:

- а) Размер зеркал
- б) Ширина линии люминесценции активной среды
- в) Длина волны излучения

6. Наличие нескольких поперечных мод резонатора влияют на

Варианты ответа:

- а) Пространственное распределение интенсивности в поперечнике пучка
- б) Частотное распределение энергии в спектре
- в) Не влияет на указанные распределения
- г) Влияет на оба указанных распределения

7. Уширение линии генерации за счет эффекта Доплера

Варианты ответа:

- а) Однородное уширение
- б) Неоднородное уширение

8. Укажите тип поперечной моды оптического резонатора с прямоугольными зеркалами



Варианты ответа:

- а) TEM_{13}
- б) TEM_{02}
- в) TEM_{31}
- г) TEM_{01}

9. Каково соотношение температур T_1/T_2 абсолютно черных тел, если отношение длин волн, соответствующих максимуму их излучения, $\lambda_1/\lambda_2 = 2$?

Варианты ответа:

- а) $T_1/T_2 = 1/4$
- б) $T_1/T_2 = 1/2$
- в) $T_1/T_2 = 2$

10. Естественная ширина линии генерационного перехода CO_2 -лазера равна 50 МГц. Чему равно время жизни τ_0 верхнего лазерного уровня по отношению к спонтанному распаду ?

Варианты ответа:

- а) $\tau_0 \approx 3$ нс
- б) $\tau_0 \approx 30$ нс
- в) $\tau_0 \approx 0,3$ нс

11. Определить отношение n_2/n_1 населенностей верхнего и нижнего энергетических уровней, если они находятся в термодинамическом равновесии при температуре 300 К и если энергетический зазор между уровнями соответствует частоте генерации CO_2 -лазера ($\lambda = 10,6$ мкм). Учесть, что $h\nu/k = 14,3 \cdot 10^3 / \lambda$ (k – постоянная Больцмана, λ – в микронах).

Варианты ответа:

- а) $n_2/n_1 \approx 0,1$
- б) $n_2/n_1 \approx 0,01$
- в) $n_2/n_1 \approx 0,001$

12. Чем определяется угол Брюстера ?

Варианты ответа:

- а) коэффициентом поглощения оптического материала
- б) толщиной оптического материала
- в) показателем преломления оптического материала

Таблица оценок

№ вопроса	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Индекс правильного ответа	<i>б</i>	<i>а</i>	<i>в</i>	<i>в</i>	<i>б</i>	<i>г</i>	<i>б</i>	<i>б</i>	<i>б</i>	<i>а</i>	<i>б</i>	<i>в</i>

6.2. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Индуцированное излучение. Коэффициенты Эйнштейна.
2. Инверсная населенность. Усиление и генерация лазерного излучения.
3. Виды активных сред и режимы работы лазеров.
4. Энергия, мощность и плотность мощности лазерного излучения и методы их измерения.
5. Угловая расходимость, пространственное распределение в поперечном сечении пучка, поляризация лазерного излучения и методы их измерения.
6. Длина волны излучения, ширина линии, когерентность лазерного излучения и методы их измерения.
7. Классическая транспортировка лазерного излучения с помощью зеркал и отражающих элементов, металлические и диэлектрические зеркала
8. Ослабление и модуляция лазерного излучения.
9. Оптоволокно. Оптоволоконные лазерные элементы.
10. Принципы работы лазерных дальномеров.
11. Лазерная голография.
12. Методики измерения скорости VISAR и ORVIS.
13. Методика измерения скорости PDV.
14. Рассеяние лазерного излучения.
15. Поглощение лазерного излучения.
16. Нелинейная оптика. Основные эффекты нелинейной оптики
17. Получение второй и третьей гармоники лазерного излучения.
18. Лазерная спектроскопия.
19. Лазерное разделение изотопов.
20. Поглощение лазерного излучения непрозрачными средами.
21. Лазерный термоядерный синтез.
22. Особенности поглощения лазерного излучения субпикосекундной длительности.
23. Оптическая стойкость элементов лазерных систем.
24. Основные факторы поражения человека лазерным излучением. Оказание первой помощи.

6.3. УРОВЕНЬ ТРЕБОВАНИЙ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Текущий контроль осуществляется в ходе учебного процесса, консультирования студентов, проверки выполнения ими самостоятельных заданий.

Формой промежуточной аттестации является экзамен, который проводится в письменной форме в виде ответов на вопросы билетов.

Оценка знаний студентов осуществляется в баллах в комплексной форме с учетом:

- работы в семестре:

- выполнение контрольных работ;
- оценки за итоговое тестирование;
- оценка за СРС;
- за участие в дискуссии;

и

- оценки знаний в ходе экзамена.

Ориентировочное распределение баллов по видам работы

<i>№ п/п</i>	<i>Вид отчетности</i>	<i>Баллы</i>
1	Контрольные работы	30
2	Тестирование итоговое	10
3	СРС	5
4	Дискуссии	5
5	Экзамен	50
	Итого	100

Оценка знаний по 100-бальной шкале в соответствии с критериями СарФТИ НИЯУ МИФИ реализуется следующим образом:

90 – 100 баллов – отлично

75 – 89 баллов – хорошо

60 – 74 баллов – удовлетворительно

0 – 59 баллов - неудовлетворительно

7. Образовательные технологии

В соответствии с требованиями ОС НИЯУ МИФИ, ФГОС ВО по подготовке студентов для направления (специальности) 03.03.01 «Прикладные математика и физика» реализация компетентностного подхода к обучению предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов. В рамках учебного курса студенты работают с лекциями, рекомендованной литературой, выполняют домашние задания. В процессе подготовки студенты используют информационные источники, размещенные в сети Интернет (официальные сайты, веб-порталы и веб-представительства организаций, предприятий и учреждений, тематические форумы и телекоммуникации), электронные учебники и учебно-методические пособия.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Г.Хирд Измерение лазерных параметров. М., Мир, 1970
2. Тепловые, гидродинамические и плазменные эффекты при взаимодействии лазерного излучения с веществом. Под ред. Н.С.Захарова, Саров, 2004г.
3. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. М., Наука, 1988.
4. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. М., Высшая школа, 2001.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Малышев В.А. Основы квантовой электроники и лазерной техники. М., Высшая школа, 2006.
2. Мельников С.П., Пунин В.Т., Синянский А.А. Газовые лазеры с ядерной накачкой: физические процессы и техника эксперимента. М., МИФИ, 2008.
3. Айхлер Ю., Айхлер Г.И. Лазеры. Исполнение, управление, применение. М., Техносфера, 2012.
4. Тарасов Л.В. Физика лазера. М., Книжный дом «Либроком», 2010.
5. Стафеев С.К., Боярский К.К., Башнина Г.Л. Основы оптики. Санкт-Петербург, Питер, 2006.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Квантовая электроника
2. Успехи физических наук
3. Журнал технической физики
4. Письма в «Журнал технической физики»
5. Приборы и техника эксперимента

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническое обеспечение включает в себя специально оборудованные кабинеты и аудитории: компьютерные классы, аудитории, оборудование мультимедийными средствами обучения.

10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Изучение дисциплины «Лазерное излучение в физическом эксперименте» предполагает освоение материалов лекций, тестовых заданий, выполнение заданий для самостоятельной работы.

На лекциях раскрываются основные вопросы в рамках рассматриваемой темы, ставятся акценты на наиболее сложных положениях изучаемого материала. Материалы лекции используются студентами для подготовки к самостоятельным занятиям.

Задания для самостоятельной работы предусмотрены для закрепления и расширения знаний, умений и навыков, приобретенных в результате изучения дисциплины.

Работа должна носить творческий характер. При ее оценке учитывается обоснованность и оригинальность выводов. В письменной работе студент должен полно и всесторонне рассмотреть все аспекты задания, четко сформулировать и аргументировать свою позицию по исследуемым вопросам.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ОС НИЯУ МИФИ, ФГОС ВПО по направлению подготовки (специальности) 03.03.01 «Прикладные математика и физика».

Лист регистрации изменений (продолжение)

Номер изменения	Номера листов			Основание	для внесения	изменений	Подпись	Расшифровка
	замененных	новых	аннулированных					
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
6.								
7.								
8.								
9.								