

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/04-577

от 27.04.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФОТОНИКА / PHOTONICS

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоёмкость, 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, экс./зач./КР/КП
8	4	144	17	17	0	57	17	Э
9	2	72	9	27	0	18	18	3
Итого	6	216	26	44	0	17	35	

АННОТАЦИЯ

Данный курс является одним из центральных в обучении бакалавров по профилю «Физика твердого тела и фотоника».

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение основополагающих вопросов взаимодействия оптического излучения с веществом, определяющих физические принципы работы квантовых усилителей и генераторов; получение представления о физических основах работы квантовых приборов радиодиапазона и оптического диапазона; знакомство с основными режимами работы квантовых генераторов (лазеров) и способами их реализации, с основными энергетическими и спектральными характеристиками.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана со следующими дисциплинами: атомная физика, квантовая механика, теория поля, физика конденсированного состояния вещества, теоретическая физика твердого тела.

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			
проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными	математические модели, методы исследования и разработок, компьютерные программы, результаты исследования	ПК-1 [1] - Способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные	З-ПК-1[1] - знать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области, ; У-ПК-1[1] - уметь

<p>планами и методиками исследований; проведение фундаментальных и прикладных математических и физических исследований, направленных на решение инженерных, технических и информационных задач; участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий; сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю</p>		<p>ресурсы в своей предметной области</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области; В-ПК-1[1] - владеть современными компьютерными технологиями и методами использования информационных ресурсов в своей предметной области</p>
--	--	--	---

<p>специализации; участие в обобщении полученных данных, формировании выводов, в подготовке научных и аналитических отчетов, публикаций и презентаций результатов научных и аналитических исследований; участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок; создание программ и комплексов программ на базе стандартных пакетов для выполнения расчетов в рамках математических моделей, участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей; подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций, участие во внедрении результатов исследований и разработок.</p>			
<p>участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей; выбор методов и подходов к решению</p>	<p style="text-align: center;">проектный</p> <p>компьютерные алгоритмы и программы, техническая документация</p>	<p>ПК-4 [1] - Способен к расчету и проектированию элементов систем в соответствии с техническим заданием, требованиями безопасности и принципами CDIO</p>	<p>З-ПК-4[1] - знать типовые методики планирования и проектирования систем ; У-ПК-4[1] - уметь использовать стандартные средства автоматизации проектирования;</p>

<p>поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, аналитические и численные расчеты; изучение и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования, сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; разработка проектной и рабочей технической документации: плана работ, технического задания и научно-технического отчета.</p>		<p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>В-ПК-4[1] - владеть методами расчета и проектирования деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием, требованиями безопасности и принципами CDIO</p>
<p>участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей; выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, аналитические и численные расчеты; изучение и анализ научно-технической информации,</p>	<p>компьютерные алгоритмы и программы, техническая документация</p>	<p>ПК-8.3 [1] - Способность проводить научно-техническую разработку и методическое сопровождение в области создания наноструктурированных композиционных материалов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>З-ПК-8.3[1] - знать современные теоретические представления при описании взаимодействий атомов и электронных оболочек в кристалле, о термодинамических, оптических, магнитных и электрофизических свойствах твердых тел, возможности основных экспериментальных методов в физике конденсированного состояния вещества и фотонике, свойства и особенности</p>

<p>отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования, сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; разработка проектной и рабочей технической документации: плана работ, технического задания и научно-технического отчета.</p>			<p>наноструктур; У-ПК-8.3[1] - уметь предложить и обосновать схему эксперимента для получения и исследования наноструктурированных композиционных материалов, провести необходимые оценки параметров; В-ПК-8.3[1] - владеть методами получения наноструктур, теоретическими моделями и оценочными соотношениями</p>
--	--	--	---

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

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
	<i>8 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	9/9/0		25	КИ-8	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-

							4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3-ПК- 8.3, У- ПК- 8.3, В- ПК- 8.3
2	Часть 2	9-15	8/8/0		25	КИ-15	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3-ПК- 8.3, У- ПК- 8.3, В- ПК- 8.3
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		17/17/0		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	Э	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3-ПК- 8.3, У- ПК- 8.3, В-

							ПК-8.3
	<i>9 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	4/13/0		25	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-8.3, У-ПК-8.3, В-ПК-8.3
2	Часть 2	9-16	5/14/0		25	КИ-16	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-8.3, У-ПК-8.3, В-ПК-8.3
	<i>Итого за 9 Семестр</i>		9/27/0		50		
	Контрольные мероприятия за 9 Семестр				50	3	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-4,

							У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-8.3, У-ПК-8.3, В-ПК-8.3
--	--	--	--	--	--	--	--

* – 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
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	17	17	0
1-8	Часть 1	9	9	0
1 - 2	Введение Понятие двухуровневой системы. Элементарные фотопроцессы в атомах и молекулах. Спонтанное и вынужденное испускание и поглощение. Вероятность элементарных фотопроцессов, коэффициенты Эйнштейна.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Ширина спектральной линии. Однородное и неоднородное уширение. Физические механизмы уширения спектральной линии.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	Термодинамика двухуровневых атомов. Поглощение и усиление. Связь между коэффициентами Эйнштейна.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Свойства индуцированного излучения Двухуровневые атомы в сильном резонансном поле электромагнитной волны. Понятие насыщения двухуровневой системы. Инверсная населенность энергетических уровней и понятие об абсолютной отрицательной температуре.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Часть 2	8	8	0

9	Квантовые усилители и генераторы радиодиапазона Энергетические уровни в газах. Форма спектральной линии. Способы наблюдения поглощения радиоизлучения в газах.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
0	0	0		
10	Молекулярный генератор на пучке молекул аммиака Способ получения усиления. Мощность генерации. Стабильность частоты NH ₃ лазера.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
0	0	0		
11 - 12	Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) Способы наблюдения ЭПР. Релаксация в парамагнетиках. Времена и физические механизмы релаксации. Однородное и неоднородное уширение.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
0	0	0		
13 - 14	Ядерный магнитный резонанс (ЯМР) Ширина линий ЯМР. Способы наблюдения ЯМР.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
0	0	0		
15	Особенности парамагнетизма ионных кристаллов Трехуровневые лазеры на твердом теле. Условия получения отрицательной температуры. Влияние времени релаксации. Шумовые свойства квантовых парамагнитных усилителей	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
0	0	0		
	<i>9 Семестр</i>	9	27	0
1-8	Часть 1	4	13	0
1 - 2	Сферические резонаторы. Моды сферического резонатора. Устойчивые и неустойчивые резонаторы.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
0	0	0		
3 - 4	Гелий-неоновый лазер. Способ получения инверсии населенности и основные характеристики. Зависимость выходной мощности от тока в разряде. Гелий-кадмиевый лазер, способ получения инверсии и основные характеристики.	Всего аудиторных часов		
		1	4	0
		Онлайн		
0	0	0		
5 - 6	Лазер на парах меди и золота . Схема энергетических уровней. Условия достижения инверсии населенности при возбуждении паров меди и золота в разряде. Режим работы лазеров и основные технические характеристики.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
0	0	0		
7 - 8	Лазер на ионах аргона. Схема энергетических уровней. Методы достижения инверсии населенности в электрическом разряде. Устройство и основные технические характеристики. Способы выделения излучения различных длин волн.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
0	0	0		
9-16	Часть 2	5	14	0
9 - 10	CO₂ – лазер. Схема колебательных уровней молекулы CO ₂ . Возбуждение антисимметричной моды в тлеющем разряде. Условия непрерывной генерации. Устройство CO ₂ – лазеров: лазеры с продольным и поперечным разрядом. Импульсные CO ₂ – лазеры.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
0	0	0		
11 - 12	Твердотельные лазеры. Схемы энергетических уровней ионов хрома и неодима в	Всего аудиторных часов		
		2	4	0

	матрицах сапфира, стекла и иттрий-алюминиевого граната.	Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Устройство неодимовых и рубиновых лазеров. Физические принципы получения генерации. Квантрон, принципиальная схема питания лампы накачки, система охлаждения.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	Генерация коротких импульсов. Режимы работы твердотельных лазеров: свободная генерация, модулированная добротность, самосинхронизация мод. Методы получения режима модулированной добротности. Понятие о лазерах фемтосекундного диапазона. Ti: сапфировый генератор. Эксимерные лазеры. Понятие эксимера, как комплекса с переносом заряда. Физические принципы реализации инверсии населенности. Устройство эксимерных лазеров и их основные характеристики.	Всего аудиторных часов		
		1	4	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

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>9 Семестр</i>
1	Преломление ТЕ-волны на границе раздела линейных диэлектрических сред. и ТМ-волны. Полное внутреннее отражение ТЕ-волны от границы раздела диэлектрических сред.
2	Поверхностные линейные волны.
3	Поверхностные волны на границе раздела линейной и нелинейной сред
4	Планарные волноводы, эффективный показатель преломления, эффективная толщина волновода.
5	Общие свойства планарных волноводов
6	Диффузный планарный волновод. Дисперсионное соотношение для случая ТЕ-моды.
7	Нелинейный планарный волновод: линейная пленка на нелинейной подложке.
8	Поверхностные волны и направленные моды нелинейного планарного волновода.

9	Различные примеры нелинейных планарных волноводов (нелинейная пленка на линейной подложке, нелинейное покрытие линейного волновода и так далее).
10	Оптическая связь между волноводами.
11	Направленные ответвители: линейный ответвитель, нелинейный ответвитель, многоканальный ответвитель.
12	Распределенная обратная связь (РОС-структура).
13	Резонансное взаимодействие электромагнитного излучения со средой. Модель двухуровневого атома.
14	Нелинейная оптика нерезонансных диэлектрических сред. Нелинейные восприимчивости. Квадратично и кубично-нелинейные среды.
15	Уравнения, описывающие распространение электромагнитного импульса в оптическом волокне с учетом дисперсии групповых скоростей и керровской нелинейности. Нелинейное уравнение Шредингера. Оптический солитон.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия, а также самостоятельная работа студентов, заключающаяся в выполнении домашних заданий, изучении пройденного материала, подготовке к письменным тестам. Для того чтобы показать современное состояние фотоники и квантовой радиофизики, предусмотрено широкое использование современных научных работ и публикаций по данной теме, посещение лабораторий НИЯУ МИФИ. Рекомендуется посещение студентами научных семинаров и конференций, в том числе, проводимых в НИЯУ МИФИ, а также в других московских университетах и институтах.

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)	Аттестационное мероприятие (КП 2)
ПК-1	З-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
ПК-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
ПК-8.3	З-ПК-8.3	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-8.3	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-8.3	Э, КИ-8, КИ-15	З, 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 – <i>«отлично»</i>	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 – <i>«хорошо»</i>	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 – <i>«удовлетворительно»</i>	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 – <i>«неудовлетворительно»</i>	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.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ F37 Femtosecond Laser Pulses : Principles and Experiments, New York, NY: Springer New York,, 2005

2. ЭИ А66 High-Energy Molecular Lasers : Self-Controlled Volume-Discharge Lasers and Applications, Cham: Springer International Publishing, 2016
3. ЭИ М56 Photonics : Linear and Nonlinear Interactions of Laser Light and Matter, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg,, 2007
4. ЭИ S96 Principles of Lasers : , Boston, MA: Springer US, 2010
5. ЭИ И 83 Волновые процессы. Основные законы : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2020
6. ЭИ Б 40 Дифракционная оптика и нанофотоника : , Москва: Физматлит, 2014
7. 621.38 Л25 Квантовая электроника : курс лекций, Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
8. ЭИ К43 Оптическое детектирование компонентов газовых технологических сред в реальном масштабе времени : монография, Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
9. 535 Л25 Когерентная фотоника : , А. И. Ларкин, Ф. Т.С. Юу, Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2012
10. 537 З-43 Принципы лазеров : , О. Звелто, Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 53 F47 The Feynman Lectures on Physics V.3 , New York: Basic Books, 2011
2. 530 Л22 Теоретическая физика Т.3 Квантовая механика. Нерелятивистская теория, , Москва: Физматлит, 2008
3. 530 Л22 Теоретическая физика Т.8 Электродинамика сплошных сред, !o200g.pft: FILE NOT FOUND! , Москва: Наука, 1992
4. 535 Б33 Фотоника. Нелинейные когерентные процессы : Учеб. пособие, А. М. Башаров, А. И. Маймистов, Э. А. Манькин, М.: МИФИ, 1986
5. 535 А91 Физические основы фотоники : учеб. пособие для вузов, В. А. Астапенко, М.: , 2005
6. 537 Х19 Лекции по квантовой радиофизике : , Я. И. Ханин, Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2005

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

При изучении данного курса необходимо твердо усвоить основные законы взаимодействия электромагнитного излучения оптического и радиодиапазонов с веществом. Опираясь на законы излучения черного тела, надо уметь выводить основные закономерности спонтанного и индуцированного излучений. Надо уметь, используя соотношения неопределенностей, получить представления о нижнем пределе расходимости индуцированного излучения, о его спектральной ширине. Необходимо уметь качественно показать связь коэффициентов усиления и поглощения электромагнитного излучения в среде с распределением населенностей энергетических уровней, иметь представление об инверсной населенности и абсолютной отрицательной температуре. Надо иметь представление о способах получения усиления в пучковых молекулярных генераторах, знать физику формирования спектрального состава этих генераторов, уметь оценить мощность излучения, стабильность частоты и основные факторы, влияющие на стабильность излучения молекулярных генераторов (на примере молекулярного генератора на пучке молекул аммиака).

Необходимо знать физическое объяснение явления электронного парамагнитного резонанса и ядерного магнитного резонанса как с точки зрения классической физики, так и использованием квантовомеханических представлений. Нужно иметь представление о временах и физических механизмах спин-спиновой и спин-решеточной релаксации, что такое однородное и неоднородное уширение спектральных линий. Представление об эффекте спинового эха, его объяснение с точки зрения классической физики. Практические применения явления спинового эха. Необходимо иметь представления об особенностях парамагнитной релаксации ионных кристаллов, их применение в квантовых многоуровневых парамагнитных усилителях. Нужно уметь показать условия получения инверсной населенности, иметь представление о шумовых свойствах квантовых парамагнитных усилителей.

Переходя к оптическому диапазону, необходимо представлять особенности взаимодействия оптического излучения с веществом, особенности его использования в устройствах квантовой электроники. Необходимо иметь представление об основных способах получения инверсной населенности в оптическом диапазоне. Нужно знать, что такое оптический резонатор, чем он отличается от резонаторов радиодиапазона, уметь оценить основные виды потерь, их влияние на свойства резонаторов, иметь представления об устойчивых и неустойчивых резонаторах. Надо знать резонансные свойства резонаторов, представления о собственных типах колебаний оптических резонаторов (модах). Надо уметь качественно изобразить распределение электрического поля для различных мод, основные методы селекции типов колебаний.

Необходимо знать способы получения инверсной населенности и работу твердотельных оптических квантовых генераторов (на примере рубинового и неодимовых лазеров). Знать основные режимы работы (режим свободной генерации, модуляции добротности, режим синхронизации мод), их основные характеристики и способы их получения. Иметь представление о работе электрооптических затворов, пассивных затворов для модуляции добротности и для синхронизации мод.

Необходимо знать работу, способы получения инверсной населенности He-Ne лазера, роль буферного газа – гелия, оптимальные условия работы (парциальные давления в рабочей смеси, общее давление смеси, ток разряда, влияние диаметра газоразрядной трубки). Лазер на углекислом газе, каков состав рабочей смеси, роль каждого компонента. Типы лазеров на углекислом газе и их основные характеристики (отпаянные лазеры, с продольной прокачкой, с поперечной прокачкой, ТЕА-лазеры, их особенности).

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Необходимо дать студентам возможность усвоить основные законы взаимодействия электромагнитного излучения оптического и радиодиапазонов с веществом. Опираясь на законы излучения черного тела, надо показать такие основные закономерности спонтанного и индуцированного излучений, как $A \sim \text{кубу частоты}$, равенство коэффициентов Эйнштейна для поглощения и излучения. Надо, используя соотношения неопределенностей, дать представления о нижнем пределе расходимости индуцированного излучения, о его спектральной ширине, качественно показать связь коэффициентов усиления и поглощения электромагнитного излучения в среде с распределением населенностей энергетических уровней, дать представление об инверсной населенности и абсолютной отрицательной температуре. Показать способы получения усиления в пучковых молекулярных генераторах, их основные характеристики (на примере молекулярного генератора на пучке молекул аммиака).

Необходимо объяснить явления электронного парамагнитного резонанса и ядерного магнитного резонанса как с точки зрения классической физики, так и использованием квантовомеханических представлений. Нужно дать представление о временах и физических механизмах спин-спиновой и спин-решеточной релаксации, что такое однородное и неоднородное уширение спектральных линий. Представление об эффекте спинового эха, его объяснение с точки зрения классической физики. Практические применения явления спинового эха. Рассказать об особенностях парамагнитной релаксации ионных кристаллов, их применение в квантовых многоуровневых парамагнитных усилителях, представление о шумовых свойствах квантовых парамагнитных усилителей.

Переходя к оптическому диапазону необходимо объяснить особенности взаимодействия оптического излучения с веществом, особенности его использования в устройствах квантовой электроники. Необходимо иметь представление об основных способах получения инверсной населенности в оптическом диапазоне. Нужно рассказать, что такое оптический резонатор, чем он отличается от резонаторов радиодиапазона, научить оценивать основные виды потерь, их влияние на свойства резонаторов, дать представления об устойчивых и неустойчивых резонаторах. Рассказать о собственных типах колебаний оптических резонаторов (модах). Качественно изобразить распределение электрического поля для различных мод, показать основные методы селекции типов колебаний.

Рассказать способы получения инверсной населенности и работу твердотельных оптических квантовых генераторов (на примере рубинового и неодимовых лазеров), основные режимы работы, их основные характеристики и способы их получения.

Показать работу, способы получения инверсной населенности He-Ne лазера, роль буферного газа – гелия, оптимальные условия работы (парциальные давления в рабочей смеси, общее давление смеси, ток разряда, влияние диаметра газоразрядной трубки). Лазер на углекислом газе, каков состав рабочей смеси, роль каждого компонента. Типы лазеров на

углекислом газе и их основные характеристики (отпаянные лазеры, с продольной прокачкой, с поперечной прокачкой, ТЕА-лазеры, их особенности).

Автор(ы):

Сипайло Игорь Петрович, к.ф.-м.н.

Литвинов Артур Васильевич, к.ф.-м.н.

Маймистов Андрей Иванович, д.ф.-м.н., профессор