

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**  
**КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА / QUANTUM ELECTRONICS**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и 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, экс./зач./КР/КП
8	3	108	17	17	0	74	0	3
Итого	3	108	17	17	0	74	0	

## АННОТАЦИЯ

В курсе дается систематическое изложение положений квантовой теории, лежащих в основе современной квантовой электроники. Квантование поля, матрица плотности, уравнение Лиувилля. Подробно разбираются основы таких явлений, как резонансные оптические явления, причины усиления оптического излучения, механизмы спонтанного и вынужденного излучения, осцилляции Раби, оптические нутации, фотонное эхо. Роль диссипации, усиления и обратной связи в квантовых усилителях.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Проиллюстрировать основные понятия и эффекты, присущие квантовой электронике, научить общим теоретическим методам описания разнообразных эффектов, связанных с взаимодействием электромагнитных волн с резонансными средами, продемонстрировать различные квантовые состояния электромагнитного поля.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс входит в дисциплины специализации. Для успешного освоения материала требуется, чтобы студент был подготовлен в рамках стандартных курсов квантовой механики, атомной физики, теории поля, физики конденсированного состояния вещества.

### 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	математические модели, методы исследования и разработок, компьютерные программы, результаты исследования	ПК-8.1 [1] - Способен пользоваться основами физики твердого тела  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	3-ПК-8.1[1] - знать основы физики конденсированных сред: твердых тел, биологических систем, квантовомеханическое описание твердых тел, энергетические зоны;

<p>специализации в соответствии с утвержденными 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</p>			<p>классификацию кристаллов на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории, физика металлов,; понятие квазичастицы; квазиимпульса, энергетического спектра, эффективной массы и заряда квазичастиц; обменное взаимодействие и магнетики; основы физики полупроводников. ; У-ПК-8.1[1] - уметь предложить и обосновать схему эксперимента для задачи физики твердого тела, сформулировать математическую модель изучаемого процесса; В-ПК-8.1[1] - владеть квантовомеханическим описанием твердых тел на языке энергетических зон и квазичастиц, методами исследования структуры, оптических и электрофизических свойств конденсированных сред</p>
---	--	--	--

<p>предметной области по профилю 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>проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными</p>	<p>математические модели, методы исследования и разработок, компьютерные программы, результаты исследования</p>	<p>ПК-8.2 [1] - Способен проводить научные исследования в области оптического приборостроения, оптических материалов и технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>З-ПК-8.2[1] - знать основы физической оптики, теорию интерференции, дифракции, временной и пространственной когерентности, закономерности распространения световых пучков в вакууме, основные</p>

<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 специализации;</p>			<p>режимы работы квантовых генераторов (лазеров) и способы их реализации, их основные энергетические и спектральные характеристики; У-ПК-8.2[1] - уметь предложить и обосновать схему экспериментальной установки в области квантовой электроники и оптического приборостроения, сформулировать математическую модель изучаемого процесса; В-ПК-8.2[1] - владеть физическими основами работы квантовых приборов радиодиапазона и оптического диапазона</p>
---	--	--	--

<p>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>			
---	--	--	--

#### 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/ Практи. (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-8.1, У-ПК-8.1, В-ПК-8.1, З-ПК-8.2, У-ПК-8.2, В-ПК-8.2
2	Часть 2	9-15	8/8/0		25	КИ-15	З-ПК-8.1, У-ПК-8.1, В-ПК-8.1, З-ПК-8.2, У-ПК-8.2, В-ПК-8.2
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		17/17/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>				50	3	З-ПК-8.1, У-ПК-8.1, В-ПК-8.1, З-ПК-8.2,

							У- ПК- 8.2, В- ПК- 8.2
--	--	--	--	--	--	--	---------------------------------------

\* – 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.
	<i>8 Семестр</i>	17	17	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	9	9	0
1	<b>Тема 1</b> Вид уравнений Максвелла в среде, содержащей токи и заряды. Уравнение непрерывности для тока и зарядов	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	<b>Тема 2</b> Среднее электрическое и среднее магнитное поле. Связанные и свободные заряды. Поляризация, намагниченность	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Тема 3</b> Классическая механика. Гамильтонова формулировка. Классическая теория поля --- классическая механика с бесконечным числом степеней свободы	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	<b>Тема 4</b> Гамильтонова формулировка классической механики	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	<b>Тема 5</b> Каноническое квантование. Переход от классической гамильтоновой механики к квантовой механике.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Тема 6</b> Статистическая физика. Матрица плотности Уравнение Лиувилля и уравнение Неймана	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Тема 7</b> Двухуровневый атом. Примеры трехуровневых атомов и	Всего аудиторных часов		
		1	1	0

	четырёхуровневого атома в физике лазеров	Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Тема 8</b> Процессы релаксации. Уширение линий резонансного поглощения. Однородное и неоднородное уширение.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	<b>Часть 2</b>	8	8	0
9	<b>Тема 9</b> Уравнение Блоха как уравнение Неймана для двухуровневого атома.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	<b>Тема 10</b> Форма линии поглощения. Слабые и сильные поля	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Тема 11</b> Переходные процессы.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Тема 12</b> Коллективное излучение системой двухуровневых атомов	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Тема 13</b> Осцилляции Раби. Оптические нутации и свободный распад индукции.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	<b>Тема 14</b> Использование электрооптического эффекта в экспериментах по наблюдению оптических нутаций и свободного распада индукции	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Тема 15</b> Фотонное эхо. Измерение времен релаксации	Всего аудиторных часов		
		2	2	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>8 Семестр</i>
1 - 2	<b>Вынужденное излучение</b> Соотношения Эйнштейна. Спонтанные и вынужденные переходы. Трехуровневая и четырехуровневая схема лазерной генерации
3 - 4	<b>Оптические резонаторы</b> Оптические резонаторы. Стоячие волны. Гауссовы пучки. Типы оптических резонаторов
5	<b>Твердотельные лазеры</b> Твердотельные лазеры. Рубиновый лазер. Лазеры с использованием атомов неодима.
6 - 7	<b>Газовые лазеры</b> Газовые лазеры. Гелий-неоновый лазер. Аргоновый лазер. Лазер на молекулах углекислого газа. Лазер на молекулах угарного газа
8	<b>Другие типы лазеров</b> Химические лазеры. Экимерные лазеры. Лазеры на органических красителях.
9	<b>Генерация коротковолнового излучения</b> Лазеры на свободных электронах. Рентгеновские лазеры.
10 - 11	<b>Полупроводниковые лазеры</b> Физические принципы работы полупроводниковых лазеров, разновидности, области применения
12	<b>Лазерная спектроскопия, нелинейная оптика</b> Применение лазеров в спектроскопии. Лазеры и развитие нелинейной оптики.
13 - 14	<b>Лазеры и волоконная оптика</b> Развитие теории и практики волоконно-оптических линий связи. Применение лазеров в волоконно-оптических датчиках. Волоконно-оптические датчики на основе амплитудной и поляризационной модуляции оптического излучения. Волоконно-оптические датчики на основе фазовой модуляции световой волны. Основные виды волоконно-оптических интерферометров.
15	<b>Лазеры в современной биологии и медицине</b> Применение лазеров в современной биологии и медицине. Особенности воздействия лазерного излучения высокой и низкой мощности на биологические объекты.

### 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Имеется список дополнительных тем для самостоятельного изучения

### 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-8.1	З-ПК-8.1	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-8.1	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-8.1	З, КИ-8, КИ-15
ПК-8.2	З-ПК-8.2	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-8.2	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-8.2	З, КИ-8, КИ-15

### 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 E91 Laser Processing of Engineering Materials: Principles, Procedure and Industrial Application : , : Elsevier, 2005
2. ЭИ S96 Principles of Lasers : , Boston, MA: Springer US, 2010
3. ЭИ Ш77 Атомная и молекулярная спектроскопия : , [Москва]: [МИФИ], 2008
4. ЭИ К 44 Квантовая и оптическая электроника : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
5. 535 Л25 Когерентная фотоника : , А. И. Ларкин, Ф. Т.С. Юу, Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2012
6. 537 З-43 Принципы лазеров : , О. Звелто, Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 535 Б33 Фотоника. Нелинейные когерентные процессы : Учеб. пособие, А. М. Башаров, А. И. Маймистов, Э. А. Манькин, М.: МИФИ, 1986
2. 535 А91 Физические основы фотоники : учеб. пособие для вузов, В. А. Астапенко, М.: , 2005
3. 537 К23 Лекции по квантовой электронике : Учеб. пособие для вузов, Карлов Н.В., М.: Наука, 1983
4. 539.1 Е59 Атомная и молекулярная спектроскопия : общие вопросы спектроскопии и пособие для вузов, М. А. Ельяшевич, Москва: Либроком, 2011
5. 621.37 Б52 История лазера : , М. Бертолотти, Долгопрудный: Интеллект, 2011
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**

. Для успешного освоения материала требуется, чтобы студент был подготовлен в рамках стандартных курсов квантовой механики, атомной физики, теории поля, физики конденсированного состояния вещества.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

В курсе дается систематическое изложение положений квантовой теории, лежащих в основе современной квантовой. Следует дать систематическое изложение положений квантовой теории, лежащих в основе современной квантовой электроники. Квантование поля, матрица плотности, уравнение Лиувилля. Подробно разобрать и объяснить основы таких явлений, как резонансные оптические явления, причины усиления оптического излучения, механизмы спонтанного и вынужденного излучения, осцилляции Раби, оптические нутации, фотонное эхо. Обсудить роль диссипации, усиления и обратной связи в квантовых усилителях электроники. Квантование поля, матрица плотности, уравнение Лиувилля. Подробно разбираются основы таких явлений, как резонансные оптические явления, причины усиления оптического излучения, механизмы спонтанного и вынужденного излучения, осцилляции Раби, оптические нутации, фотонное эхо. Роль диссипации, усиления и обратной связи в квантовых усилителях

Автор(ы):

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

Скворчевский Константин Анатольевич, д.т.н.