

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 2

от 26.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**АТОМНЫЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ФОТОПРОЦЕССЫ (ЧАСТЬ 1)**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

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
7	3	108	8	24	0		40	0	Э
Итого	3	108	8	24	0	0	40	0	

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина дает основные представления о строении атомов и молекул, о современных методах спектроскопии и их применении в смежных областях, физике твердого тела, нанопотонике и т.п.

Курс состоит из двух основных частей: основные понятия спектроскопии и многоэлектронные атомы.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины является получение знаний, необходимых для успешной профессиональной деятельности в области исследований, разработок и технологий, направленных на регистрацию и обработку спектральной информации, создание и применение установок и систем в области нанопотоники, физики нанобъектов и конденсированного состояния вещества

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

Для успешного освоения дисциплины необходимо прослушать курс общей физики, в части квантовой оптики, физики атомного ядра, а также изучить курс квантовой механики. Дисциплина необходима студентам для понимания строения сложных атомов и молекул с учетом электростатического и спин-орбитального взаимодействия, а также для последующего изучения фотоники органических и неорганических наноструктур

### 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			
математическое моделирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального	электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, математические	ПК-2.1 [1] - Способен применять методы и концепции экспериментальной физики конденсированного	З-ПК-2.1[1] - Знать: законы и экспериментальные методы экспериментальной физики

<p>назначения на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования; участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств; анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования; организация защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятий</p>	<p>модели</p>	<p>состояния вещества, лазерной физики, фотоники, физики микро- и наносистем для решения функциональных, технических и технологических проблем при создании и эксплуатации элементов и устройств, функционирующих на принципах опто- и наноэлектроники</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>конденсированного состояния вещества, лазерной физики, физики микро- и наносистем, принципы функционирования элементов и устройств фотоники, опто- и наноэлектроники; У-ПК-2.1[1] - Уметь: анализировать научно-техническую проблему, поставленную задачу в области физики конденсированного состояния вещества, физики наноструктур, фотоники и предлагать возможные пути ее решения; В-ПК-2.1[1] - Владеть: навыками экспериментальной работы на специализированном научном оборудовании и устройствах в области фотоники, физики наноструктур, лазерной физики, опто- и наноэлектроники, моделирования и численных расчетов применительно к поставленной задаче</p>
<p>Анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования</p>	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое</p>	<p>ПК-3 [1] - Способен анализировать и систематизировать результаты исследований, определять степень достоверности результатов экспериментальных исследований, сопоставлять полученные результаты с мировым уровнем, представлять</p>	<p>З-ПК-3[1] - Знание законов статистической физики; У-ПК-3[1] - Умение находить научную информацию в базах данных, выполнять её анализ и систематизацию, представлять результаты своих исследований в виде докладов, отчётов и</p>

	<p>оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>	<p>материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций, баз данных</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 01.001, 40.011</p>	<p>публикаций.; В-ПК-3[1] - Владение методами обработки результатов измерений</p>
--	---	---	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное и трудовое воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры исследовательской и инженерной деятельности (В16)	Использование воспитательного потенциала дисциплин "Основы конструирования и САПР", "Курсовой проект: основы конструирования и САПР", "Инженерная и компьютерная графика", "Детали машин и основы конструирования" для формирования навыков владения эвристическими методами поиска и выбора технических решений в условиях неопределенности через специальные задания (методики ТРИЗ, морфологический анализ, мозговой штурм и др.), культуры инженера-разработчика через организацию проектной, в том числе самостоятельной работы обучающихся с использованием программных пакетов.

Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (B17)	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.</p>
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.

## 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>7 Семестр</i>						
1	Основные понятия. Теория радиационных переходов	1-8	4/12/0		25	КИ-8	3-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1
2	Многоэлектронные атомы. Тонкая структура термов	9-16	4/12/0		25	КИ-16	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		8/24/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-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
Э	Экзамен

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел и	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем. , час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	8	24	0
<b>1-8</b>	<b>Основные понятия. Теория радиационных переходов</b>	4	12	0
1 - 2	<b>Тема 1</b> Роль спектроскопии в современной физике твердого тела, физике наноструктур и нанофотонике.	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
0	0	0		
3 - 4	<b>Тема 2</b> Основы теории радиационных переходов. Спонтанные и индуцированные переходы. Вероятности переходов, сечения поглощения и вынужденного испускания. Правила отбора. Экспериментальные методы изучения атомарных спектров.	Всего аудиторных часов		
		0	3	0
		Онлайн		
0	0	0		
5 - 6	<b>Тема 3</b> Атом водорода. Уравнение Шредингера для атома водорода. Распределение электронной плотности для состояний атома водорода. Тонкая структура спектров атома водорода. Спин-орбитальное взаимодействие. Сверхтонкое расщепление. Лэмбовский сдвиг.	Всего аудиторных часов		
		0	3	0
		Онлайн		
0	0	0		
7 - 8	<b>Тема 4</b> Искусственные атомы, квантовые точки. Энергетические уровни типичных квантовых точек. Спектры поглощения и люминесценции. Систематика спектров полупроводниковых квантовых точек.	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
0	0	0		
<b>9-16</b>	<b>Многоэлектронные атомы. Тонкая структура термов</b>	4	12	0
9 - 10	<b>Тема 5</b> Спектры многоэлектронных атомов. Приближение центрального поля. Систематика состояний электронов в центральном поле. Оболочечная модель атома и границы ее применимости. Электростатическое расщепление. Понятие спектрального термина. Тонкая структура термина. Приближение LS- и jj –связи.	Всего аудиторных часов		
		0	3	0
		Онлайн		
0	0	0		
11 - 12	<b>Тема 6</b> Спектры атомов с оболочкой ns и ns <sup>2</sup> . Спектры щелочных и щелочноземельных элементов. Атом гелия. Сериальные закономерности. Тонкая структура. Интенсивности спектральных линий. Спектры атомов меди, серебра, золота и ртути. Лазер на парах меди и золота.	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
0	0	0		
13 - 14	<b>Тема 7</b> Спектры атомов с заполняющимися и заполненными p-, d- и f-оболочками. Термы основных и возбужденных электронных конфигураций. Тонкая структура термов, интенсивности спектральных линий.	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
0	0	0		
15 - 16	<b>Тема 8</b> Возбужденные атомы. Метастабильные атомы в газовых лазерах. Многоступенчатое селективное фотовозбуждение и фотоионизация атомов. Применение многоступенчатой селективной фотоионизация для разделения изотопов и в элементном анализе.	Всего аудиторных часов		
		0	3	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>7 Семестр</i>
1 - 2	<b>Тема 1</b> Роль спектроскопии в современной физике твердого тела, физике наноструктур и нанофотонике.
3 - 4	<b>Тема 2</b> Основы теории радиационных переходов. Спонтанные и индуцированные переходы. Вероятности переходов, сечения поглощения и вынужденного испускания. Правила отбора. Экспериментальные методы изучения атомарных спектров.
5 - 6	<b>Тема 3</b> Атом водорода. Уравнение Шредингера для атома водорода. Распределение электронной плотности для состояний атома водорода. Тонкая структура спектров атома водорода. Спин-орбитальное взаимодействие. Сверхтонкое расщепление. Лэмбовский сдвиг.
7 - 8	<b>Тема 4</b> Искусственные атомы, квантовые точки. Энергетические уровни типичных квантовых точек. Спектры поглощения и люминесценции. Систематика спектров полупроводниковых квантовых точек.
9 - 10	<b>Тема 5</b> Спектры многоэлектронных атомов. Приближение центрального поля. Систематика состояний электронов в центральном поле. Оболочечная модель атома и границы ее применимости. Электростатическое расщепление. Понятие спектрального термина. Тонкая структура термина. Приближение LS- и jj-связи.
11 - 12	<b>Тема 6</b> Спектры атомов с оболочкой ns и ns <sup>2</sup> . Спектры щелочных и щелочноземельных элементов. Атом гелия. Сериальные закономерности. Тонкая структура. Интенсивности спектральных линий. Спектры атомов меди, серебра, золота и ртути. Лазер на парах меди и золота.
13 - 14	<b>Тема 7</b> Спектры атомов с заполняющимися и заполненными p-, d- и f-оболочками. Термы основных и возбужденных

	электронных конфигураций. Тонкая структура термов, интенсивности спектральных линий.
15 - 16	<b>Тема 8</b> Возбужденные атомы. Метастабильные атомы в газовых лазерах. Многоступенчатое селективное фотовозбуждение и фотоионизация атомов. Применение многоступенчатой селективной фотоионизация для разделения изотопов и в элементном анализе.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Используются современные предметно- и личностно-ориентированные образовательные технологии

## 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-3	З-ПК-3	Э, КИ-16
	У-ПК-3	Э, КИ-16
	В-ПК-3	Э, КИ-16
ПК-2.1	З-ПК-2.1	Э, КИ-8
	У-ПК-2.1	Э, КИ-8
	В-ПК-2.1	Э, КИ-8

## 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»	В	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		С	
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	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»	Ф	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 С21 Carbon Nanoparticles and Nanostructures : , Cham: Springer International Publishing, 2016
2. ЭИ А 92 Атомная физика Т. 2 Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома, : , 2022
3. 539.1 Е59 Атомная и молекулярная спектроскопия : общие вопросы спектроскопии и пособие для вузов, М. А. Ельяшевич, Москва: Либроком, 2011
4. 539.1 Е59 Атомная и молекулярная спектроскопия. Атомная спектроскопия : , М. А. Ельяшевич, Москва: Либроком, 2009

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.2 Г82 Колебания молекул : , Л. А. Грибов, Москва: Либроком, 2009
2. 539.1 Л52 Нелинейные селективные фотопроцессы в атомах и молекулах : , Летохов В.С., М.: Наука, 1983
3. 539.1 Л17 Лазерная спектроскопия колебательно-возбужденных молекул : , Отв. ред. Летохов В.С., М.: Наука, 1990

4. 539.1 С50 Физика атома и иона : , Смирнов Б.М., М.: Энергоатомиздат, 1986

5. 539.1 С54 Введение в теорию атомных спектров : , Собельман И.И., М.: Наука, 1977

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**

1. Демонстрационный проектор

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

При изучении курса студент должен твердо усвоить основные представления о строении атомов и молекул, о современных методах спектроскопии и их применении в смежных областях, физике твердого тела, нанофотонике и т.п.

При изучении раздела «Основные понятия спектроскопии» студент должен твердо усвоить физические механизмы тонкого расщепления, а также квантово-механические принципы его расчета. Он должен уметь связать эти знания с представлениями об атоме водорода, полученными из курса общей физики и квантовой механики. В качестве самостоятельной работы студент должен повторить раздел «Атом водорода» из курса общей физики и квантовой механики, а также квантово-механическую теорию возмущений из курса теоретической физики.

Раздел «Строение многоэлектронного атома». Студент должен понять физические принципы электростатического расщепления и уметь провести его расчет для двухэлектронного атома с помощью квантово-механической теории возмущений. В качестве самостоятельной работы должен решать задачи по определению атомарного терма, исходя из оболочечной модели, а также задачи на определение величины электростатического расщепления.

Основы теории радиационных переходов. Студент должен твердо усвоить элементарные атомарные фотопроцессы и взаимосвязь между ними. Понять общие принципы формирования правил отбора исходя из законов сохранения и симметрии атомных систем. В качестве самостоятельной работы – повторить нестационарную квантово-механическую теорию возмущений, повторить теорию излучения Планка

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

Студенты выносят из курса общей физики несколько искаженное представление о терме. Следует подробно объяснить зависимость электростатического расщепления от суммарного спина и суммарного орбитального момента. Первое можно сделать на примере

двухэлектронного атома ( атома гелия). Важно дать понятия о коэффициентах Эйнштейна и об их взаимосвязи, а также дать квантово-механический вывод вероятности радиационного перехода и объяснить студентам, что такое матричный элемент оператора дипольного момента и его связь с вероятностью радиационного перехода. Чтобы избежать формального усвоения правил отбора, необходимо объяснить их физическую природу, обусловленную элементарным процессом взаимодействия фотона с атомом. Можно дать понятие о насыщении перехода. Для объяснения типичных спектров атомов различных периодов периодической таблицы, следует активно использовать: понятие спектрального терма, правила отбора, оболочечную модель, теорию тонкого расщепления и т.п. Удобно продемонстрировать некоторые основные принципы спектроскопии многоэлектронного атома на примере работы некоторых атомных и ионных лазеров - таких как лазер на парах меди и золота, иодный лазер, гелий-неоновый лазер. При рассмотрении многоступенчатого возбуждения атомов необходимо использовать понятие насыщения перехода. При этом студенты должны уметь самостоятельно сделать оценки для интенсивности лазерного излучения, требуемой для эффективной многоступенчатой ионизации. В этом разделе необходимо дать понятие о технологии лазерного разделения изотопов, а также аналитических методах детектирования атомарных примесей в конденсированных средах.

Автор(ы):

Чистяков Александр Александрович, д.ф.-м.н., с.н.с.