

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ
КАФЕДРА ФИЗИКИ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 03/3-21

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР
(СПЕЦСЕМИНАР)**

Направление подготовки
(специальность)

[1] 11.04.04 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, экз./зач./КР/КП
1	4	144	8	40	0	60	0	Э
Итого	4	144	8	40	0	60	0	

АННОТАЦИЯ

Учебная задача курса "Экспериментальные методы исследования наноструктур (спецсеминар)" - дать основные представления о строении атомов и молекул, о современных методах спектроскопии и их применении в смежных областях, физике твердого тела, нанофотонике и т.п.

Курс «Экспериментальные методы исследования наноструктур (спецсеминар)» состоит из следующих основных частей: теория строения атома водорода, строение многоэлектронного атома, основы теории радиационных переходов, основы общей систематики сложных спектров и характерные спектры многоэлектронных атомов, спектроскопия многоступенчатого возбуждения атомов.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины «Экспериментальные методы исследования наноструктур (спецсеминар)» является получение знаний, необходимых для проведения научных экспериментов в области создания наноструктурированных материалов, усвоение приемов и методов исследования и управления свойствами таких материалов, а также приобретение навыков обработки результатов физического эксперимента.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Профессиональный модуль, дисциплина по выбору

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			
разработка рабочих планов и программ проведения научных исследований и технических разработок,	материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы	ПК-5 [1] - способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных	З-ПК-5[1] - Знать: современные теоретические и экспериментальные достижения в области электроники и

<p>подготовка отдельных заданий для исполнителей; сбор, обработка, анализ и систематизация научно-технической информации по теме исследования, выбор методик и средств решения задачи; разработка методики, проведение исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники, анализ их результатов; использование физических эффектов при разработке новых методов исследований и изготовлении макетов измерительных систем; разработка физических и математических моделей, компьютерное моделирование исследуемых физических процессов, приборов, схем и устройств, относящихся к профессиональной сфере; подготовка научно-технических отчетов, обзоров, рефератов, публикаций по результатам выполненных исследований, подготовка и представление докладов на научные конференции и семинары; фиксация и защита объектов интеллектуальной</p>	<p>их исследования, математические модели</p>	<p>исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>наноэлектроники ; У-ПК-5[1] - Уметь: делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем.; В-ПК-5[1] - Владеть: навыками подготовки научных публикаций и заявок на изобретения</p>
--	---	--	--

<p>собственности разработка рабочих планов и программ проведения научных исследований и технических разработок, подготовка отдельных заданий для исполнителей; сбор, обработка, анализ и систематизация научно-технической информации по теме исследования, выбор методик и средств решения задачи; разработка методики, проведение исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники, анализ их результатов; использование физических эффектов при разработке новых методов исследований и изготовлении макетов измерительных систем; разработка физических и математических моделей, компьютерное моделирование исследуемых физических процессов, приборов, схем и устройств, относящихся к профессиональной сфере; подготовка научно-технических отчетов, обзоров, рефератов, публикаций по результатам выполненных исследований,</p>	<p>материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, математические модели</p>	<p>ПК-7 [1] - способен анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-7[1] - Знать: современное состояние научно-технических проблем в области электроники и нанoeлектроники ; У-ПК-7[1] - Уметь: анализировать состояние научно-технической проблемы путём изучения и анализа литературных и патентных источников.; В-ПК-7[1] - Владеть: навыками сбора научно-технической информации, необходимой для проведения исследований.</p>
--	---	---	--

подготовка и представление докладов на научные конференции и семинары; фиксация и защита объектов интеллектуальной собственности			
--	--	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>1 Семестр</i>						
1	Понятие спектроскопии и ее экспериментальных методов	1-8	4/20/0		25	КИ-8	3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
2	Многоэлектронные атомы	9-16	4/20/0		25	КИ-16	3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		8/40/0		50		
	Контрольные мероприятия за 1 Семестр				50	Э	3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	8	40	0
1-8	Понятие спектроскопии и ее экспериментальных методов	4	20	0
1 - 2	Тема 1 Роль спектроскопии и ее экспериментальных методов в современной физике твердого тела, физике наноструктур и нанофотонике.	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Тема 2 Спонтанные и индуцированные переходы. Вероятности переходов, сечения поглощения и вынужденного испускания. Правила отбора. Экспериментальные методы изучения атомарных спектров.	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	Тема 3 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		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Тема 4 Искусственные атомы, квантовые точки. Энергетические уровни типичных квантовых точек. Спектры поглощения и люминесценции. Систематика спектров полупроводниковых квантовых точек. Применение квантовых точек в медицинской спектральной диагностике.	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Многоэлектронные атомы	4	20	0
9 - 10	Тема 5 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		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	Тема 6 Спектры атомов с оболочкой ns и ns ² . 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		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Тема 7 Спектры атомов с заполняющимися и заполненными p-, d-	Всего аудиторных часов		
		1	5	0

	и f-оболочками. Термы основных и возбужденных электронных конфигураций. Тонкая структура термов, интенсивности спектральных линий.	Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	Тема 8 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		
		1	5	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>1 Семестр</i>
	Тема 1 Роль спектроскопии и экспериментальных методов в современной физике твердого тела, физике наноструктур и нанофотонике
	Тема 2 Основы теории радиационных переходов. Спонтанные и индуцированные переходы. Вероятности переходов, сечения поглощения и вынужденного испускания. Правила отбора. Экспериментальные методы изучения атомарных спектров
	Тема 3 Уравнение Шредингера для атома водорода. Распределение электронной плотности для состояний атома водорода. Тонкая структура спектров атома водорода. Спин-орбитальное взаимодействие. Сверхтонкое расщепление. Лэмбовский сдвиг.
	Тема 4 Искусственные атомы, квантовые точки. Энергетические уровни типичных квантовых точек. Спектры поглощения и люминесценции. Систематика спектров полупроводниковых квантовых точек.
	Тема 5 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.
	Тема 6 Спектры атомов с оболочкой ns и ns ² . 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.
	Тема 7 Спектры атомов с заполняющимися и заполненными p-, d- и f-оболочками. Термы основных и возбужденных электронных конфигураций. Тонкая структура термов, интенсивности спектральных линий.
	Тема 8 Возбужденные атомы. Метастабильные атомы в газовых лазерах. Многоступенчатое селективное фотовозбуждение и фотоионизация атомов. Применение многоступенчатой селективной фотоионизации для разделения изотопов и в элементном анализе.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- лекции по курсу традиционного типа, на некоторых лекциях применяется компьютерный проектор для иллюстраций;
- выполнение студентами задания по разделам курса;
- практические занятия в аудитории, сочетающиеся с обсуждением результатов решения по домашнему заданию;
- консультации студентов по выполнению задания

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-5	З-ПК-5	Э, КИ-16
	У-ПК-5	Э, КИ-16
	В-ПК-5	Э, КИ-16
ПК-7	З-ПК-7	Э, КИ-8
	У-ПК-7	Э, КИ-8
	В-ПК-7	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 – <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.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 620 М54 Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур : лабораторный практикум по нанотехнологиям: учебное пособие, Москва: Бинوم. Лаборатория знаний, 2017

2. ЭИ Ф50 Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела : учебное пособие для вузов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2014

3. 539.1 Е59 Атомная и молекулярная спектроскопия : общие вопросы спектроскопии и пособие для вузов, М. А. Ельяшевич, Москва: Либроком, 2011

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении курса «Экспериментальные методы исследования наноструктур (спецсеминар)» студент должен твердо усвоить основные представления о строении атомов и молекул, о современных методах спектроскопии и их применении в смежных областях, физике твердого тела, наноптонике и т.п.

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. 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. 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. Студент должен уметь свободно определять сериальные закономерности для «легкого атома» исходя из понятия терма и правил отбора. Должен уметь вычислять отношения интенсивностей в спектрах для типичных случаев. В качестве самостоятельной работы – решать задачи, предложенные преподавателем. Студент должен твердо усвоить

понятие насыщения перехода и уметь делать оценки для лазерной интенсивности насыщения перехода. В качестве самостоятельной работы – решать задачи, предложенные преподавателем.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Необходимо учитывать, что основные понятия студенту известны из курсов общей и теоретической физики. Поэтому следует обратить внимание на рассмотрение вопросов спин-орбитального взаимодействия, а также зависимости энергии атома от массы электрона. Важно продемонстрировать применение квантово-механической теории возмущений для расчета соответствующих поправок к энергии атома. При рассмотрении сдвига Лэмба обычно не хватает времени для изложения как теории, так и эксперимента. Преподаватель должен выбрать: можно продемонстрировать квантово-механический расчет сдвига, а можно сосредоточиться на эксперименте. В первом случае необходимо объяснить, хотя бы качественно, общие принципы квантования электромагнитного поля. 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. Ключевой вопрос этого раздела – правила отбора. 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 термина, 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.

Самостоятельная работа студентов включает решение задач, предложенных преподавателем на лекциях.

Автор(ы):

Мартынов Игорь Леонидович, к.ф.-м.н.