

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**

**СПЕЦПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ НАНОСИСТЕМ**

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
8	2	72	12	0	24		36	0	3
Итого	2	72	12	0	24	12	36	0	

## АННОТАЦИЯ

Учебная задача курса - дать основные представления о экспериментальных методах физики наноструктур и нанофотоники на примере конкретных лабораторных работ, выполняемых на современном научно-исследовательском оборудовании.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины 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
производственно-технологический			
внедрение результатов исследований и разработок в производство; выполнение работ по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники; проведение технологических процессов	материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования, технологические процессы производства, диагностическое и технологическое	ПК-8 [1] - Способен выполнять постановку и эксплуатацию определенного технологического процесса или блока технологических операций по производству материалов и изделий электронной техники  <i>Основание:</i> Профессиональный	З-ПК-8[1] - Знание технологий сверхбольших интегральных схем, планарных и иных технологий электроники и наноэлектроники; У-ПК-8[1] - Умение выполнять постановку и эксплуатацию определенного технологического процесса или блока

<p>производства материалов и изделий электронной техники; контроль за соблюдением технологической дисциплины и приемов энерго - и ресурсосбережения; подготовка документации и участие в работе системы менеджмента качества на предприятии; организация метрологического обеспечения производства материалов и изделий электронной техники</p>	<p>оборудование, алгоритмы решения типовых задач</p>	<p>стандарт: 29.005, 29.008</p>	<p>технологических операций по производству СБИС, интегральных СВЧ-систем и других изделий электронной техники.; В-ПК-8[1] - Владение технологическими операциями по производству материалов и изделий электронной техники</p>
<p>внедрение результатов исследований и разработок в производство; выполнение работ по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники; проведение технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники; контроль за соблюдением технологической дисциплины и приемов энерго - и ресурсосбережения; подготовка документации и участие в работе системы менеджмента качества на предприятии; организация метрологического</p>	<p>материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования, технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, алгоритмы решения типовых задач</p>	<p>ПК-9 [1] - Способен выполнять определенный тип измерительных или контрольных операций при исследовании параметров полупроводниковых приборов и устройств или в технологическом процессе по производству материалов и изделий электронной техники</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.002</p>	<p>З-ПК-9[1] - Знание параметров полупроводниковых приборов аналоговой, цифровой, радиочастотной и СВЧ-электроники.; У-ПК-9[1] - Умение выполнять исследования параметров полупроводниковых приборов и устройств в микро- и нанoeлектронике; В-ПК-9[1] - Владение методами измерений в технологическом процессе по производству материалов и изделий электронной техники</p>

<p>обеспечения производства материалов и изделий электронной техники</p>			
<p>внедрение результатов исследований и разработок в производство; выполнение работ по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники; проведение технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники; контроль за соблюдением технологической дисциплины и приемов энерго - и ресурсосбережения; подготовка документации и участие в работе системы менеджмента качества на предприятии; организация метрологического обеспечения производства материалов и изделий электронной техники</p>	<p>материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования, технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, алгоритмы решения типовых задач</p>	<p>ПК-10 [1] - Способен к модернизации существующих и внедрению новых методов и оборудования для измерений параметров наноматериалов и наноструктур</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.007</p>	<p>З-ПК-10[1] - Знание физических основ современных микро- и нанотехнологий, технологий гетероструктурной и СВЧ-электроники.; У-ПК-10[1] - Умение творчески применять современное оборудование для измерений параметров наноматериалов и наноструктур; В-ПК-10[1] - Владение методами измерений параметров наноматериалов и наноструктур</p>
<p>инновационно-проектный</p>			
<p>участие в подготовке и подаче заявок по перспективным проектам, грантам в рамках проводимых открытых конкурсов; участие в разработке технических требований, технических заданий по инновационным разработкам; участие</p>	<p>устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования, инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования</p>	<p>ПК-17 [1] - Способен оценивать эффективность внедрения новых методов и способов измерения или проектирования или изготовления материалов или изделий электронной техники</p>	<p>З-ПК-17[1] - Знание современных методов проектирования и изготовления материалов и изделий электронной техники; У-ПК-17[1] - Умение оценить эффективность внедрения новых методов изготовления материалов или</p>

в подготовке отчетной документации по проектам		<i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.034, 40.104	изделий электронной техники; В-ПК-17[1] - Владение навыками оценки эффективности внедрения новых способов измерений параметров изделий электронной техники
--	--	--	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)	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.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных

		<p>посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</p> <p>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (B20)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</p>

## 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	Основные понятия и определения. Эффекты на наноуровне.	1-8	6/0/12		25	КИ-8	З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
2	Методы исследований и диагностики.	9-12	6/0/12		25	КИ-12	З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, З-ПК-17, У-ПК-17, В-ПК-17
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		12/0/24		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>				50	3	З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, З-ПК-9, У-ПК-9, В-

							ПК-9, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, 3-ПК-17, У-ПК-17, В-ПК-17
--	--	--	--	--	--	--	--

\* – 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

Неделя	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	12	0	24
<b>1-8</b>	<b>Основные понятия и определения. Эффекты на наноуровне.</b>	6	0	12
1 - 2	<b>Тема 1</b> Понятие наносистемы. Примеры современных микро- и наносистем. Роль микро- и наносистем на современном этапе развития науки и техники.	Всего аудиторных часов		
		1	0	2
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Тема 2</b> Понятие о 3D, 2D, 1D – наносистемах. Эффект размерного квантования. Частица в одномерной потенциальной яме. Решение уравнения Шредингера. Энергетические уровни, плотность состояний.	Всего аудиторных часов		
		1	0	2
		Онлайн		
		0	0	0
4 - 5	<b>Тема 3</b> Сферическая потенциальная яма. Уравнение Шредингера, момент количества движения. Разделение переменных, уравнения для координатной и угловой части волновой функции.	Всего аудиторных часов		
		1	0	2
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Тема 4</b>	Всего аудиторных часов		



	Туннельный эффект. Вероятность тунелирования. Автоэмиссия электронов в постоянном электрическом поле.	1	0	3
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>Тема 5</b> Современные методы и технологии получения наносистем. Понятие о термическом и лазерном вакуумном напылении.	Всего аудиторных часов		
		2	0	3
		Онлайн		
		0	0	0
9-12	<b>Методы исследований и диагностики.</b>	6	0	12
9	<b>Тема 6</b> Понятие о физико-химических методах получения наносистем. Методы коллоидной химии и обратных мицелл.	Всего аудиторных часов		
		1	0	2
		Онлайн		
		0	0	0
10 - 11	<b>Тема 7</b> Обзор основных методов и физических принципов диагностики характеристик наносистем – нанокристаллов, квантовых точек, нанонитей (нанороудсов), тонких пленок.	Всего аудиторных часов		
		1	0	2
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Тема 8</b> Интерферометр Фабри-Перо. Понятие о модах интерферометра. Микрорезонаторы.	Всего аудиторных часов		
		1	0	2
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Тема 9</b> Понятие о фотонных кристаллах, природные фотонные кристаллы Методы получения фотонных кристаллов. Примеры их использования в науке и технике.	Всего аудиторных часов		
		1	0	2
		Онлайн		
		0	0	0
14	<b>Тема 10</b> Спонтанное и вынужденное испускание света, поглощение и усиление света, лазерная генерация и лазерные генераторы.	Всего аудиторных часов		
		1	0	2
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Тема 11</b> Понятие о плазмонах. Продольные и поперечные плазмоны. Примеры наночастиц со свойствами плазмонных резонансов. Понятие о сенсорах на основе плазмонных резонансов.	Всего аудиторных часов		
		1	0	2
		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>Тема 1</b> Понятие наносистемы. Примеры современных микро- и наносистем. Роль микро- и наносистем на современном этапе развития науки и техники.
3	<b>Тема 2</b> Понятие о 3D, 2D, 1D – наносистемах. Эффект размерного квантования. Частица в одномерной потенциальной яме. Решение уравнения Шредингера. Энергетические уровни, плотность состояний.
4 - 5	<b>Тема 3</b> Сферическая потенциальная яма. Уравнение Шредингера, момент количества движения. Разделение переменных, уравнения для координатной и угловой части волновой функции.
6	<b>Тема 4</b> Туннельный эффект. Вероятность тунелирования. Автоэмиссия электронов в постоянном электрическом поле.
7 - 8	<b>Тема 5</b> Современные методы и технологии получения наносистем. Понятие о термическом и лазерном вакуумном напылении.
9	<b>Тема 6</b> Понятие о физико-химических методах получения наносистем. Методы коллоидной химии и обратных мицелл.
10 - 11	<b>Тема 7</b> Обзор основных методов и физических принципов диагностики характеристик наносистем – нанокристаллов, квантовых точек, нанонитей (нанороудсов), тонких пленок.
12	<b>Тема 8</b> Интерферометр Фабри-Перо. Понятие о модах интерферометра. Микрорезонаторы.
13	<b>Тема 9</b> Понятие о фотонных кристаллах, природные фотонные кристаллы Методы получения фотонных кристаллов. Примеры их использования в науке и технике.
14	<b>Тема 10</b> Спонтанное и вынужденное испускание света, поглощение и усиление света, лазерная генерация и лазерные генераторы.
15	<b>Тема 11</b> Понятие о плазмонах. Продольные и поперечные плазмоны. Примеры наночастиц со свойствами плазмонных резонансов. Понятие о сенсорах на основе плазмонных резонансов.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Для выполнения лабораторных работ студенты разбиваются на бригады по два (в порядке исключения по три) человека.

На первом занятии происходит инструктаж по технике безопасности, ознакомление с перечнем работ, которые необходимо выполнить в течение семестра, и ознакомление с порядком допуска, выполнения и сдачи работ. На первом же занятии происходит распределение студентов по бригадами (подгруппам), составляется график.

Допуск к выполнению работы предусматривает собеседование со всеми студентами, образующими бригаду, и определяет степень готовности каждого из них к выполнению работы. Собеседование проводится в пределах программы того курса, по которому выполняются работы. Для ориентации направления собеседования в описании к каждой лабораторной работе содержится перечень контрольных вопросов и список рекомендованной литературы. Во время допуска к работе студентам разрешается пользоваться только своим рабочим журналом. Для собеседования по допуску к работам отводятся первые два часа начала занятий. В том случае, если отвечающие студенты не проявили удовлетворительного понимания темы лабораторной работы, они к выполнению работы не допускаются. (В оставшееся до конца занятия время они могут изучить необходимую литературу и в конце занятия повторно пройти собеседование.) В начале выполнения лабораторной работы студенты совместно с преподавателем подробно изучают установку и затем проводят предусмотренные заданием измерения. Полученные результаты заносятся в лабораторный журнал. Перед тем как выключить установку после проведения всех измерений необходимо результаты показать преподавателю.

Для получения зачета по работе студенты обязаны предъявить отчет, один на всю бригаду. В отчете должны быть представлены: схема установки, таблицы измеренных величин, необходимые расчеты, графики полученных зависимостей, ошибки измерений, заключение по работе, содержащее объяснение полученных результатов и сопоставление этих результатов с теоретическими закономерностями.

Зачет по работе проставляется после заключительного собеседования, на котором уточняются детали теоретического собеседования, выясняется понимание проводимых исследований и полученных результатов, определяется знание характеристик и возможностей лабораторной установки. Прием зачета производится в конце занятия.

Студенты выполнившие, но не сдавшие более одной лабораторной работы к дальнейшим работам не допускаются. Отчеты по лабораторным работам хранятся на кафедре до конца семестра.

## 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-10	З-ПК-10	З, КИ-12
	У-ПК-10	З, КИ-12
	В-ПК-10	З, КИ-12
ПК-17	З-ПК-17	З, КИ-12

	У-ПК-17	3, КИ-12
	В-ПК-17	3, КИ-12
ПК-8	З-ПК-8	3, КИ-8
	У-ПК-8	3, КИ-8
	В-ПК-8	3, КИ-8
ПК-9	З-ПК-9	3, КИ-8
	У-ПК-9	3, КИ-8
	В-ПК-9	3, 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»	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 – «удовлетворительно»	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 – «неудовлетворительно»	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. 620 М54 Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур : лабораторный практикум по нанотехнологиям: учебное пособие, Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2017
2. ЭИ М31 Введение в физику наноструктур : учебное пособие для вузов, М. М. Маслов, Л. А. Опенов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
3. 539.2 К55 Введение в нанотехнологию : , Н. Кобаяси, Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2005

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.2 П88 Нанотехнологии : учебное пособие для вузов, Москва: Техносфера, 2010

### 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. Образцы пористого кремния (Э-205)
2. Демонстрационный проектор

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

Цель методических рекомендаций для студента – помощь в изучении дисциплины.

Материалы учебно-методического комплекса предоставляются студентам в виде соответствующей литературы и электронном виде. Эти материалы являются описанием лабораторных учебно- исследовательских работ, с включением дополнительного материала. Студенты должны активно пользоваться предоставленными материалами при подготовке к получению допуска, выполнению и защите лабораторной работы.

Курс состоит из отдельных учебно-исследовательских работ, не связанных прямо друг с другом. Процесс занятий строится следующим образом. Студенты разбиваются на пары. Для

получения допуска к работе студенту необходимо изучить соответствующие методические указания и описание лабораторной работы.

После получения допуска студенты могут приступать к выполнению работы под контролем преподавателя. Результаты выполнения работы оформляются в виде отчета, состоящего из краткого изложения принципов работы установки, цели выполнения работы, полученных экспериментальных данных, результатов обработки и выводов.

Последний этап работы – защита результатов работы у преподавателя. Особое внимание следует уделить вопросу обработки и представления результатов. Представленные зависимости должны быть физически обоснованы и иметь проставленные погрешности (доверительные интервалы).

Для целей эффективного усваивания и использования полученных знаний рекомендуется ознакомиться с интернет – ресурсами и литературой. В рекомендованной литературе, особенно дополнительной, отдельные изучаемые вопросы рассматриваются более глубоко, их изучение повышает квалификацию будущего специалиста. Следует также при работе с материалом пользоваться интернет – ресурсами, часть из которых приводится ниже:

<http://www.nanometer.ru/>

<http://www.nanoworld.org/russian/library.html>

<http://www.ntmdt.ru>

<http://www.nanoobr.ru/>

<http://www.rusnanoforum.ru/>

<http://nano-info.ru/>

<http://www.portalnano.ru/>

<http://www.nanonewsnet.ru/>

<http://www.rosnano.ru/>

<http://e-learning.nanoobr.ru/>

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

При изложении первого раздела необходимо учитывать, что основные принципы квантовой механики студентами 3- го курса усваиваются обычно достаточно формально. Поэтому необходимо повторение в общих чертах принципов квантовой механики: операторов физических величин, принципа неопределенности, уравнения Шредингера. С методами решения уравнения Шредингера для одномерных потенциальных ям студенты знакомы достаточно хорошо. Поэтому этот раздел можно дать для самостоятельной проработке или в форме задач. Основное внимание нужно уделить физическим выводам из решения квантовомеханических уравнений. При этом важным является вопрос: при каких размерах наноструктур и температурах экспериментально проявляется эффект размерного квантования. Этот вопрос можно оформить в виде задачи, но нужно помнить, что ее решение возможно только с помощью преподавателя. Часть занятия интересно посвятить сферической потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Это – модель полупроводниковой сферической квантовой точки. Полномерное решение уравнения Шредингера для этого случая на 3-м курсе – невозможно, поскольку студенты не знакомы со специальными функциями. Решение возможно лишь для частного случая. Однако полезно познакомить студента с поведением частицы в центральном поле, где сохраняется момент количества движения, рассмотреть уравнения для квадрата момента, закон квантования момента и его проекции на произвольную ось.

Второй раздел посвящен изложению современных методов получения наноструктур. Здесь необходимо рассмотреть методы коллоидной химии, молекулярно-лучевой эпитаксии и др. Однако, с методической точки зрения особое место занимает метод термического напыления. Действительно, изложение этого метода позволяет вспомнить и существенно дополнить знания студента по вакуумной технике. Знания по молекулярной физике в объеме курса общей физики позволяет студентам решать задачи, которые достаточно глубоко проясняют сущность метода и позволяют провести практически важные оценки и расчеты. Здесь уместно познакомить студентов с методом лазерного напыления, который активно развивается в современной науке.

Автор(ы):

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

Котковский Геннадий Евгеньевич, к.ф.-м.н.