

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета  
физико-математических  
и естественных наук



Ю. П. Перельгин

от « 13 » апреля 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б 1.2.21.1 ОСНОВЫ ФИЗИКИ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СИСТЕМ**

Уровень высшего образования: бакалавриат

Направление подготовки: 44.03.05 Педагогическое образование  
( с двумя профилями подготовки)

Профили подготовки: Физика, Технология

Форма обучения: очная

Пенза – 2016 г.

### 1. Цели освоения дисциплины

**Целью** освоения дисциплины «Основы физики низкоразмерных полупроводниковых систем» является формирование у обучающихся современного естественнонаучного мировоззрения; освоение современного стиля физического мышления; формирование у обучающихся систематизированных знаний, умений и навыков при работе в области физики низкоразмерных систем, систематизированных знаний, умений и навыков в области современной физики.

#### Задачи изучаемой дисциплины:

- создать представление о предмете физики низкоразмерных систем, ее современном состоянии и путях развития, связи ее с другими науками;
- сформировать представление об основных типах низкоразмерных структур;
- сформировать представление о методах получения низкоразмерных структур;
- показать применение методов теоретической и экспериментальной физики для изучения свойств низкоразмерных систем;

### 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата.

Дисциплина «Основы физики низкоразмерных полупроводниковых систем» относится к дисциплинам по выбору вариативной части блока Дисциплины (модули).

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях, умениях, навыках, сформированных в процессе изучения предметов: «Общая и экспериментальная физика», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Математический анализ», «Основы теоретической физики».

В результате освоения этих дисциплин обучающийся должен знать основы механики, молекулярной физики, электродинамики, оптики, квантовой физики, дифференциального и интегрального исчисления, теорию дифференциальных уравнений, иметь навыки работы с компьютером, уметь проводить поиск необходимой информации в сети «Internet».

Освоение данной дисциплины является основой для последующего прохождения педагогической практики, подготовки к государственной итоговой аттестации.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Основы физики низкоразмерных полупроводниковых систем».

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

Коды компетенции	Наименование компетенции	Структурные элементы компетенции (в результате освоения дисциплины обучающийся должен знать, уметь, владеть)
1	2	3
СКФ-1	Знание концептуальных и теоретических основ физики, её места в общей системе наук и ценностей, истории развития и современного состояния	<u>Знать</u> : физическую сущность явлений и процессов, происходящих в низкоразмерных полупроводниковых системах, основные методы решения конкретных задач нанoeлектроники, методы получения наноструктур.
		<u>Уметь</u> : применять компьютерные технологии для иллюстрации основных физических явлений и процессов в низкоразмерных полупроводниковых системах, использовать теоретические методы решения конкретных задач физики низкоразмерных систем.
		<u>Владеть</u> : навыками проведения конкретных теоретических расчетов.

**4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ  
«ОСНОВЫ ФИЗИКИ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СИСТЕМ»**

**4.1. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины	Семестр	Недели семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)							Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)			
				Аудиторная работа			Самостоятельная Работа				Собеседование	Проверка реферата	Тест	Проверка контрольной работы
				Всего	Лекция	Практические занятия	Всего	Подготовка к аудиторным занятиям	Доклад	Реферат				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>1.</b>	<b>Раздел 1. Методы изготовления наноструктур</b>	9	1-4	12	4	8	8	8						
1.1.	Тема 1.1. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Газофазная эпитаксия. Нанолитография	9	1-2	6	2	4	4	4			2			
1.2	Тема 1.2. Самоорганизация наноструктур.	9	3-4	6	2	4	4	4			4			
<b>2</b>	<b>Раздел 2. Электроны и квазичастицы в наноструктурах</b>	9	5-6	6	2	4	14	12	2					
2.1	Тема 2.1. Свойства двумерного электронного газа. Электроны в квантовых проволоках и точках.	9	5	2		2	6	6			5		5	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2.2	Тема 2.2. Локализованные состояния носителей заряда: экситоны и поляроны. Оптические и акустические фононы. Электрон-фононное взаимодействие.	9	6	6	2	2	8	6	2		6			
<b>3</b>	<b>Раздел 3. Оптические свойства низкоразмерных полупроводниковых систем</b>	<b>9</b>	<b>7-12</b>	<b>18</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>22</b>	<b>18</b>	<b>4</b>					
3.1.	Тема 3.1. Междузонное и внутризонное поглощение света. Отражение света в полупроводниковых наноструктурах.	9	7-8	6	2	4	8	6	2		7			
3.2	Тема 3.2. Примесное поглощение света в системах полупроводниковых квантовых ям, сверхрешеток, проволок и точек.	9	9-10	6	2	4	6	6			9		9	
3.4.	Тема 3.3. Двухфотонное примесное поглощение света в низкоразмерных полупроводниковых структурах.	9	11-12	6	2	4	8	6	2		11			
<b>4</b>	<b>Раздел 4. Электронный транспорт в полупроводниковых наноструктурах</b>	<b>9</b>	<b>13-14</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>22</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>6</b>				
4.1.	Тема 4.1. Баллистический электронный транспорт в наноструктурах	9	13	2		2	12	6	2	4		13		
4.2	Тема 4.2. Эффект фотонного увлечения электронов в квантовых ямах и проволоках.	9	14	4	2	2	10	6	2	2	14	14		14
	<b>Общая трудоемкость, в часах - 108</b>			<b>42</b>	<b>14</b>	<b>28</b>	<b>66</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	Промежуточная аттестация			
											Форма	Семестр		
											Зачет	<b>9</b>		

## 4.2. Содержание дисциплины «Основы физики низкоразмерных полупроводниковых систем»

### Раздел 1. МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НАНОСТРУКТУР

**Тема 1.1. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Газофазная эпитаксия. Нанолитография**  
Молекулярно-лучевая эпитаксия. Газофазная эпитаксия. Нанолитография.

**Тема 1.2. Самоорганизация наноструктур.**  
Самоорганизация наноструктур.

### Раздел 2. ЭЛЕКТРОНЫ И КВАЗИЧАСТИЦЫ В НАНОСТРУКТУРАХ

**Тема 2.1. Свойства двумерного электронного газа. Электроны в квантовых проволоках и точках.**

Свойства двумерного электронного газа. Электроны в квантовых проволоках и точках. Локализованные состояния носителей заряда: экситоны и поляроны. Оптические и акустические фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

### Раздел 3. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СИСТЕМ

**Тема 3.1. Междузонное и внутризонное поглощение света. Отражение света в полупроводниковых наноструктурах.**

Междузонное и внутризонное поглощение света. Отражение света в полупроводниковых наноструктурах. Коэффициент отражения света.

**Тема 3.2. Примесное поглощение света в системах полупроводниковых квантовых ям, сверхрешеток, проволок и точек.**

Примесное поглощение света в системах полупроводниковых квантовых ям и сверхрешеток. Примесное поглощение света в полупроводниковых квантовых проволоках и точках.

**Тема 3.3. Двухфотонное примесное поглощение света в низкоразмерных полупроводниковых структурах.**

Двухфотонное примесное поглощение света в низкоразмерных полупроводниковых структурах. Виртуальное состояние. Матричный элемент двухфотонного перехода.

### Раздел 4. ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОСТРУКТУР

**Тема 4.1. Баллистический электронный транспорт в наноструктурах**  
Баллистический электронный транспорт в наноструктурах.

**Тема 4.2. Эффект фотонного увлечения электронов в квантовых ямах и проволоках.**  
Передача импульса от фотонов электронам в полупроводниках. Эффект фотонного увлечения электронов в квантовых ямах и проволоках. Квадрупольное приближение. Время релаксации.

## 5. Образовательные технологии

В ходе освоения дисциплины при проведении аудиторных занятий используются следующие образовательные технологии: лекции, тестирования с использованием активных и интерактивных форм проведения занятий:

- лекция-визуализация:

**Тема 1.1.** Молекулярно-лучевая эпитаксия. Газофазная эпитаксия. Нанолитография

**Тема 1.2.** Самоорганизация наноструктур.

В целях реализации индивидуального подхода к обучению студентов, осуществляющих учебный процесс по собственной траектории в рамках индивидуального рабочего плана, изучение данной дисциплины базируется на следующих возможностях: обеспечение внеаудиторной работы со студентами в том числе в электронной образовательной среде с использованием соответствующего программного оборудования, дистанционных форм обучения, возможностей интернет-ресурсов, индивидуальных консультаций и т.д.

### 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

**Оценочные средства для текущего контроля успеваемости,  
промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

#### 6.1. План самостоятельной работы студентов

Неделя	№ темы	Вид самостоятельной работы	Кол-во часов	Лит-ра
1-2	1.1	Подготовка к аудиторному занятию: – работа с конспектом лекции по теме; – работа с учебником;	4	[1] - [5]
3-4	1.2	Подготовка к аудиторному занятию: – работа с конспектом лекции по теме; – работа с учебником;	4	[1] - [5]
5-6	2.1	Подготовка к аудиторному занятию: – работа с конспектом лекции по теме; – работа с учебником;	6	[1] - [5]
7	2.2	Подготовка к аудиторному занятию: – работа с конспектом лекции по теме; – работа с учебником; подготовка доклада.	6 2	[1] - [5]
8	3.1	Подготовка к аудиторному занятию: – работа с конспектом лекции по теме; – работа с учебником; подготовка доклада.	6 2	[1] - [5]
9	3.2	Подготовка к аудиторному занятию: – работа с конспектом лекции по теме; – работа с учебником;	6	[1] - [5]
10	3.3	Подготовка к аудиторному занятию: – работа с конспектом лекции по теме; – работа с учебником; подготовка доклада.	6 2	[1] - [5]
11	4.1	Подготовка к аудиторному занятию: – работа с конспектом лекции по теме; – работа с учебником; подготовка к докладу; подготовка к защите реферата	6 2 4	[1] - [5]
12	4.2	Подготовка к аудиторному занятию: – работа с конспектом лекции по теме;	6	[1] - [5]

		– работа с учебником; подготовка доклада.	2	
		подготовка к защите реферата	2	

\* - список учебных пособий приводится ниже

## 6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины «**Основы физики низкоразмерных полупроводниковых систем**» предполагает следующие формы: подготовка к аудиторным занятиям, написание реферата, доклада и подготовка к экзамену.

1. Подготовка к аудиторным занятиям включает в себя изучение учебной, учебно-методической, научной литературы и конспектов лекций по данной теме (разделу) с целью формирования теоретических представлений по изучаемой проблеме; изучения методики проведения, компьютерного моделирования по данной теме (пункт 7 программы).

*Содержание заданий определяется преподавателем с учетом дифференцированного и лично-ориентированного подходов.*

Контроль качества и объема выполненных заданий осуществляется во время аудиторного занятия в форме собеседования и/или тестирования (компьютерное или бланковое)

2. Написание реферата осуществляется студентом по индивидуально выбранной теме из банка тем рефератов. Содержание и объем реферативной работы определяется преподавателем. Студент самостоятельно осуществляет поиск источников информационного сопровождения работы, критический анализ содержания отобранной информации, компоновку и оформление реферата.

Оценивание реферата осуществляется по единой для всех студентов системе критериев включающих: степень раскрытия темы (при изучении рукописи реферата), уровень владения материалом реферативной работы (в ходе защиты реферата и ответов на вопросы), композиция работы и представления работы на защите.

Защита рефератов осуществляется по решению преподавателя публично во время лекции или практического занятия либо в индивидуальном порядке во внеаудиторное время.

## 6.3 Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов.

### Контроль освоения компетенций

№	Контролируемые темы	Код контролируемой компетенции или её части	Наименование оценочного средства
1	<b>Раздел 1. Методы изготовления наноструктур</b>		
1.1	Тема 1.1. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Газофазная эпитаксия. Нанолитография	СКФ-1	собеседование
1.2	Тема 1.2. Самоорганизация наноструктур.	СКФ-1	собеседование
2	<b>Раздел 2. Электроны и квазичастицы в наноструктурах</b>		
2.1	Тема 2.1. Свойства двумерного электронного газа. Электроны в квантовых проволоках и точках.	СКФ-1	собеседование, тест
2.2	Тема 2.2. Локализованные состояния носителей заряда: экситоны и поля-	СКФ-1	собеседование

	роны. Оптические и акустические фононы. Электрон-фононное взаимодействие.		
<b>3</b>	<b>Раздел 3. Оптические свойства низкоразмерных полупроводниковых систем</b>		
3.1	Тема 3.1. Междузонное и внутризонное поглощение света. Отражение света в полупроводниковых наноструктурах.	СКФ-1	собеседование
3.2	Тема 3.2. Примесное поглощение света в системах полупроводниковых квантовых ям, сверхрешеток, проволок и точек.	СКФ-1	собеседование, тест
3.3	Тема 3.3. Двухфотонное примесное поглощение света в низкоразмерных полупроводниковых структурах.	СКФ-1	собеседование
<b>4</b>	<b>Раздел 4. Электронный транспорт в полупроводниковых наноструктурах</b>		
4.1	Тема 4.1. Баллистический электронный транспорт в наноструктурах	СКФ-1	защита реферата
4.2	Тема 4.2. Эффект фотонного увлечения электронов в квантовых ямах и проволоках.	СКФ-1	собеседование, контрольная работа

### *Демонстрационный вариант проверочных задач*

Задача 1. Электрическая емкость наночастицы и земного шара. Какова электрическая емкость островка металла (такие структуры иногда называют квантовыми точками, имеющий сферическую форму с радиусом  $R_0 = 1$  нанометр (нм)). Считать, что кусочек металла и находится в среде с диэлектрической проницаемостью, равной 1. Сравните электрическую емкость такой наночастицы с емкостью земного шара.

Задача 2. Заряд на островке металла. Насколько изменится заряд на островке металла, если к нему приложить напряжение  $V = 1$  В. Изменение заряда выразите через количество электронов. Необходимо объяснить ваш ответ.

Задача 3. Зарядка Земли одним электроном. 1) Какую энергию нужно затратить, чтобы зарядить металлический электрод (или конденсатор) емкостью  $C$  до разницы потенциалов (потенциала)  $V$ ? 2) Какую энергию нужно затратить, чтобы зарядить кусочек металла радиусом 1 нм одним электроном? Выразите эту энергию в электрон-вольтах (эВ). 3) Сколько эВ требуется для зарядки Земли одним электроном?

Задача 4. Фотоприемная матрица на основе наногетероструктур. Определите спектральный диапазон (или диапазон длин волн) работы фотоприемной матрицы на основе наногетероструктур для следующих параметров квантовых ям (рис.2.1 комментария к задаче):  $E_{g1} = 1,43$  эВ,  $E_{g2} = 1,78$  эВ,  $E_1 = 0,05$  эВ,  $E_2 = 0,175$  эВ, середины запрещенных зон полупроводниковых материалов, составляющих квантовую яму, совпадают.

Задача 5. Фотоприемная матрица инфракрасного (ИК) диапазона для передачи изображения телевизионного стандарта. Определить минимальную площадь фотоприемной матрицы инфракрасного диапазона спектра для передачи изображения телевизионного стандарта. Чувствительным элементом матрицы является многослойная наногетероструктура, содержащая  $n = 50$



слоев квантовых ям и два контактных слоя общей толщиной  $h_k = 2,67$  микрон (мкм). Считать, что разделение фотоматрицы на элементы проводится с помощью изотропного травления. Минимальный допустимый размер поверхности чувствительного элемента  $d$  и окна для травления  $l$  составляют 1 мкм, толщины слоев узкозонного и широкозонного полупроводников, составляющих структуру квантовой ямы,  $h_y = 5$  нм и  $h_{ш} = 45$  нм соответственно, число строк изображения  $N = 600$ , чувствительный элемент фотоматрицы имеет форму квадрата.

Задача 6. Снайпер, вооруженный инфракрасным прицелом. Оценить предельное расстояние, на котором снайпер, вооруженный инфракрасным прицелом с фотоприемным устройством (ФУ) на основе наногетероструктур сможет обнаружить ночью солдата противника.

Фотоматрица работает в режиме накопления заряда. Ее характеристики: размер элементарной ячейки фотоприемной матрицы  $30 \times 30$  мкм; емкость интегрирования  $C = 1$  пФ; частота кадров  $f = 50$  Гц; площадь фотоприемной матрицы  $S = 75$  мм<sup>2</sup>; диаметр входного отверстия объектива  $D = 16$  мм; диапазон чувствительности фотоматрицы 8–10 мкм; коэффициент пропускания атмосферы  $\tau_c = 0,6$ ; коэффициент пропускания оптической системы  $\tau_o = 0,75$ ; коэффициент поглощения излучения в квантовой яме  $\alpha = 0,1$ ; коэффициент усиления фототока в квантовой яме  $G = 4$ . Считайте, что человек излучает как «серое» тело с коэффициентом  $K = 0,6$ . Поверхность, которую может обнаружить снайпер – лицо солдата и предельное регистрируемое изменение напряжения на емкости интегрирования фотоприемного устройства составляет 1 мВ.

Задача 7. Одноэлектронный транзистор при комнатной температуре. Одноэлектроника – это одно из направлений создания наноприборов и наноустройств, основным элементом которых являются одноэлектронные транзисторы.

Действие одноэлектронного транзистора основано на туннельном переходе электрона через диэлектрический слой, находящийся между двумя металлическими контактами. Энергия такой системы рассчитывается как энергия конденсатора  $E = Q^2/2C$ , где  $Q$  – заряд на обкладках конденсатора;  $C$  – ёмкость конденсатора. Минимальное изменение энергии  $\Delta E$  этой системы происходит, если заряд на обкладках изменяется в результате прихода даже одного электрона. Для наблюдения эффекта необходимо, чтобы изменение энергии было существенно больше температурных флуктуаций  $kT$  ( $E \gg kT$ ).

Какова должна быть ёмкость конденсатора для выполнения соотношения  $E \gg kT$  при комнатной температуре.

Задача 8. Площадь обкладок конденсатора для одноэлектронного транзистора. Одноэлектронный транзистор, включающий в себя в качестве основного элемента конденсатор со структурой металл-диэлектрик-металл (МДМ), способен реагировать на туннелирование одного электрона, если ёмкость указанной структуры составляет  $10^{-18} - 10^{-19}$  Ф.

Какова площадь обкладок конденсатора с диоксидом кремния  $SiO_2$  в качестве диэлектрика, если ёмкость составляет  $10^{-18}$  Ф при толщине диэлектрика, равной 10 нм. Недостающие вам для расчета данные возьмите из любого подходящего справочника.

Задача 9. Тепловыделение процессора современного компьютера. На кристалле процессора современного компьютера на площади примерно  $1$  см<sup>2</sup> расположено  $N = 100$  млн. транзисторов, которые можно рассматривать как конденсаторы с емкостью  $C_n = 10$  фФ (фемтоФарад). При

работе такого процессора эти конденсаторы перезаряжаются с тактовой частотой  $f = 1$  ГГц. Причем вся энергия конденсаторов переходит при этом в тепло.

Оцените плотность потока тепла от поверхности рассматриваемого процессора в единицах измерения Вт/см<sup>2</sup>. Считайте, что напряжение питания составляет  $V_{dd} = 1$  В. Сравните тепловыделение от поверхности процессора с потоком тепла от поверхности обычной электрической плитки мощностью 1 кВт. Поясните, что нужно делать, чтобы снизить тепловыделение от процессора?

### *Демонстрационный вариант контрольного теста*

Вопрос №1. Сколько нанометров в пикокилометре?

- (а) 0,1 нм; (б) 1 нм; (в) 10 нм; (г) 1000 нм.

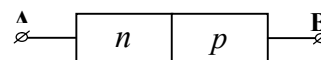
Вопрос №2. Как изменяется с ростом температуры сопротивление полупроводника?

- (а) возрастает; (б) убывает; (в) не зависит; (г) среди ответов нет правильного.

Вопрос №3. В настоящее время одним из основных материалов, применяемых при изготовлении интегральных микросхем (ИМС), является четырехвалентный кремний. Если в кремний в качестве примеси ввести атомы пятивалентного элемента (например, мышьяка), в полупроводнике образуются свободные носители заряда. Какие это частицы?

- (а) свободные электроны;  
(б) свободные ионы кремния;  
(в) свободные ионы примеси;  
(г) свободные «дырки».

Вопрос №4. Полупроводник, в котором носителями заряда являются свободные электроны, называется электронным или полупроводником  $n$ -типа. Полупроводник, в котором все электроны являются связанными, а электрический ток осуществляется при «перескоке» электрона от одного атома к другому на свободное от электронов место, называется дырочным (поскольку перемещается «место, в котором отсутствует электрон» около атома или «дырка») или полупроводником  $p$ -типа.



Пусть имеется контакт полупроводников  $p$ - и  $n$ -типа (или  $p-n$  переход, см. рисунок), к которому прикладывают напряжение  $U = \varphi_A - \varphi_B$ , где  $\varphi_A$  и  $\varphi_B$  - потенциалы точек А и В.

В каком случае сопротивление этого участка цепи между А и В будет больше?

- (а) если  $\varphi_A > \varphi_B$ ; (б) если  $\varphi_A < \varphi_B$ ;  
(в) если  $\varphi_A = \varphi_B$ ; (г) сопротивление не зависит от знака напряжения.

Вопрос №5. Известно, что при контакте полупроводников  $n$ - и  $p$ -типа, благодаря тепловому движению свободных электронов и дырок полупроводники приобретают избыточный положительный и отрицательный заряд. В области контакта полупроводников возникает электрическое поле.

Как направлен вектор напряженности этого поля?

- (а) от полупроводника  $n$ -типа к полупроводнику  $p$ -типа  
(б) от полупроводника  $p$ -типа к полупроводнику  $n$ -типа

- (в) параллельно границе контакта полупроводников
- (г) среди приведенных ответов нет правильного.

### *Темы рефератов*

1. Излучение света полупроводниковой структурой с квантовой ямой.
2. Излучение света массивом полупроводниковых квантовых точек.
3. Оптические свойства квантовых проволок.
4. Квазичастицы в наноструктурах.
5. Электропроводность квантовых ям.
6. Электропроводность квантовых проволок.
7. Эффект фотонного увлечения в структурах с квантовыми ямами и проволоками.
8. Примесные состояния в квантовых ямах.
9. Примеси в квантовых проволоках.
10.  $D^-$  -состояния в квантовых точках.
11. Резонансные примесные состояния в полупроводниковых наноструктурах.
12.  $A^+$  - центры в полупроводниковых наноструктурах.
13. Приборы на основе полупроводниковых наноструктур.
14. Поглощение света полупроводниковой структурой с квантовой ямой
15. Поглощение света массивом полупроводниковых квантовых точек.
16. Поглощение света полупроводниковыми квантовыми проволоками.
17. Одноэлектронные приборы.
18. Приборы молекулярной электроники.
19. Влияние диэлектрического окружения на оптические свойства наноструктур.

### *Вопросы к зачету по дисциплине «Основы физики низкоразмерных полупроводниковых систем»*

1. Тенденция перехода от микроэлектроники к наноэлектронике. Уменьшение топологического размера элементов. Наноэлектроника. Мезоскопика. Молекулярно-атомный уровень. Области применения наноэлектроники и нанотехнологий. Взаимосвязь с другими науками. Нанотехнологии и общество.
2. Свойства частиц малых размеров. 0-D, 1-D, 2-D , 3-D системы
3. Зависимость свойств от размеров и размерности
4. Изменение соотношения внешних и внутренних атомов в кластере
5. Изменение координационного числа для кластера
6. Изменение температуры плавления (кластер, пленка)
7. Изменение постоянной решетки
8. Изменение энергии связи
9. Изменение ширины запрещенной зоны в полупроводниках; зависимость от размерности
10. Изменение зонной структуры металла; размерно-индуцированный переход «металл-диэлектрик»
11. Изменение оптических свойств металлов и полупроводников
12. Изменение электрических и магнитных свойств
13. Изменение механических и химических свойств
14. Наноструктурированные материалы – новый вид состояния материи?
15. Методы визуализации нанообъектов. Классификация микроскопов и их возможности
16. Оптический микроскоп
17. Просвечивающий электронный микроскоп
18. Растровый электронный микроскоп. Режимы наблюдения
19. Растровый электронный микроскоп с FIB-приставкой
20. Растровый электронный микроскоп с EDX-приставкой

21. Полевой ионный микроскоп
22. Зондовые методы микроскопии
23. Сканирующий туннельный микроскоп. Физические принципы
24. Атомно-силовой микроскоп. Физические принципы
25. Режимы атомно-силовой микроскопии
26. Артефакты атомно-силовой микроскопии
27. Применение зондовых методов для модификации поверхности
28. Нанотехнологии. Два подхода к получению наноструктур. “Bottom-up” и “Top-down” методы
29. Методы субмикронной фотолитографии. Электронная литография. Ионная литография. Рентгеновская литография. Литография с применением синхротронного излучения
30. Литография нановдавливанием. Наносферная литография
31. Рост квантовых нитей по механизму ПЖК
32. Формирование квантовых точек по механизму Странского-Крастанова
33. Атомное манипулирование. Квантовые «загоны» Эглера
34. Процессы контролируемого размещения квантовых точек
35. Формирование наноструктур на основе пористых материалов. Методы получения и свойства пористого кремния
36. Достижения российских ученых в области нанотехнологий

**7. Учебно-методическое и информационное обеспечение  
дисциплины «Основы физики низкоразмерных полупроводниковых систем»**

**а) основная литература:**

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров	Число обучающихся, одновременно изучающих дисциплину
1	Кревчик, В.Д. Метод потенциала нулевого радиуса в физике низкоразмерных систем : монография / В. Д. Кревчик, А. Б. Грунин ; Пенз. гос. ун-т. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2007. - 348 с.	50	20
2	Грунин А.Б. Магнитооптические эффекты в многоямных квантовых структурах с примесными центрами атомного типа : учебное пособие / А. Б. Грунин ; под ред. В. Д. Кревчика ; Пенз. гос. ун-т. - Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008. - 124 с.	70	20
3	Методология научных исследований материалов нано- и микроэлектроники: повышение эффективности исследований: учебное пособие / Е.А. Печерская [и др.] ; под ред. Р. М. Печерской. - Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2012. - 262 с.	24	20
4	Овчинников А.А., Дахновский Ю.И., Жуковский В.Ч., Кревчик В.Д., Семенов М.Б., Тернов А.И., Арынгазин А.К. Введение в современную мезоскопию (учебное пособие с грифом УМО). – Пенза: Изд-во ПГУ, 2003. - 570 с.	59	20
5	Кревчик В.Д. Введение в полупроводниковую наноэлектронику [Текст] : учеб.пособие / Пенз. гос. ун-т. - Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2002. - 96 с.	20	20

**б) дополнительная литература:**

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров	Число обучающихся, одновременно изучающих дисциплину
3	Квантовые эффекты в мезоскопических системах: учеб. пособие / Владимир Чеславович Жуковский [и др.]. - М. : Физический факультет МГУ, 2005 -. Ч.2 : Мезоскопика конденсированного состояния. Транспортные и магнитооптические свойства наноструктур. - 148 с.	5	20

№	Наименование и краткая характеристика электронных изданий и информационных баз данных	Количество точек доступа
1	Бордовский, Г. А. Физические основы математического моделирования : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / Г. А. Бордовский, А. С. Кондратьев, А. Чоудери. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 319 с. — (Серия : Бакалавр и магистр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-05365-4. — Режим доступа : <a href="http://www.biblio-online.ru/book/1C52F887-0D12-4B68-8428-35FD75180606">www.biblio-online.ru/book/1C52F887-0D12-4B68-8428-35FD75180606</a>	10
2	Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки <a href="http://izvuz_fm.npznzgu.ru/page/9761">http://izvuz_fm.npznzgu.ru/page/9761</a>	10

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения лекционных занятий используется материально-техническое обеспечение лаборатории лекционного эксперимента, в частности лабораторное оборудование лаборатории оптики и квантовой физики (ауд. 13-12 ФФМЭН), лабораторное и демонстрационное оборудование лекционной ауд. №13- 31 и помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования ауд. №13- 32.

Для обеспечения самостоятельной работы студентов используются ресурсы компьютерных классов факультета физико-математических и естественных наук и библиотечного фонда университета.

Рабочая программа дисциплины «Основы физики низкоразмерных полупроводниковых систем» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций примерной ОПОП ВО по направлению подготовки : 44.03.05 «Педагогическое образование» с двумя профилями подготовки: «Физика», «Технология».

Программу составил:

Разумов Алексей Викторович, доцент кафедры «Общая физика и методика обучения физике»

 Разумов А.В.

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.

Программа одобрена на заседании кафедры «Общая физика и методика обучения физике»

Протокол № 8 от «12» апреля 2016 года

Заведующий кафедрой  А.Ю. Казаков

Программа одобрена методической комиссией факультета физико-математических и естественных наук

Протокол № 9 от «13» апреля 2016 года

Председатель методической комиссии факультета физико-математических и естественных наук  М.А.Родионов

**Сведения о переутверждении программы  
на очередной учебный год и регистрации изменений**

Учебный год	Решение кафедры (№ протокола, дата, подпись зав. кафедры)	Внесённые изменения	Номера листов (страниц)		
			заменённых	новых	аннулированных
Рабочая программа дисциплины актуализирована и заменена настоящей в связи с переходом на ФГОС ВО по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки) 13.04.2016 г. <i>Сидурин</i>					
2016/2017	Переутверждена на 2016/2017 уч. г. (№ 1 от 30.08.2016) <i>Сидурин</i>	-	-	-	-
2017/2018	Переутверждена 2017/2018 уч. г. (№ 1 от 31.08.2017) <i>Сидурин</i>	-	-	-	-
2018-2019	Переутверждена на 2018-2019 уч. г. (№ 1 от 30.08.2018) <i>Сидурин</i>				
2019-2020	Переутверждена на 2019-2020 уч. г. (№ 1 от 30.08.2019) <i>Сидурин</i>				