

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ, ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И  
ЭЛЕКТРОНИКИ

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета  
Кревчик В.Д. \_\_\_\_\_  
(Подпись) (Фамилия, инициалы)  
« 30 » ноября 2015 г.



## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### М1.2.8.1 ОСНОВЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

( индекс дисциплины по учебному плану, наименование дисциплины)

Направление подготовки 03.04.02 «Физика»  
(код, наименование направления подготовки)

Магистерская программа «Физика конденсированного состояния вещества»  
(наименование магистерской программы)

Квалификация (степень) выпускника – *Магистр*

Форма обучения очная  
(очная, заочная, очно-заочная)

Пенза, 2015

### 1. Цели освоения дисциплины.

Целью освоения дисциплины «Основы нанoeлектроники» является изучение физических основ создания и применения полупроводниковых наноструктур, анализ имеющихся методов создания и исследования наносистем и наноматериалов.

### 2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина М1.2.8.1 «Основы нанoeлектроники» является дисциплиной по выбору студента вариативной части программы магистратуры (модуль М1.2) дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 03.04.02 «Физика».

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях по следующим дисциплинам программы бакалавриата по направлению подготовки 03.03.02 «Физика»: «физика полупроводников», дисциплинам модулей «математика» и «теоретическая физика».

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин:

– избранные разделы физики конденсированного состояния – дисциплина вариативной части программы магистратуры (блок М1.2), а также при прохождении производственной практики, выполнении НИР и государственной итоговой аттестации.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Основы нанoeлектроники»

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
ПК-2	Способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.	<b>Знать:</b> основы и принципы постановки задач, основные теоретические модели и методы решения поставленных задач в рамках заданных граничных условий; современные данные о достижениях полупроводниковой нанoeлектроники и их теоретическое объяснение.
		<b>Уметь:</b> применять теоретические методы расчёта, современные достижения информационных технологий и новейшее оборудование для решения актуальных задач полупроводниковой нанoeлектроники
		<b>Владеть:</b> навыками решения практических задач современной микро- и нанoeлектроники; навыками теоретических расчётов характеристик структур полупроводниковой нанoeлектроники

#### 4. Структура и содержание дисциплины «Основы нанозлектроники»

##### 4.1 Структура дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины 4 зачётных единицы, 144 часа, в том числе 36 часов подготовки к экзамену.

№ 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	Коллоквиум	Проверка тестов	Проверка контролн. работ	Проверка реферата	Проверка эссе и иных творческих работ	курсовая работа (проект)	др.	
				Всего	Лекция	Практические занятия	Лабораторные занятия	Всего	Подготовка к аудиторным занятиям	Реферат, эссе и др.	Курсовая работа (проект)									Подготовка к экзамену
1.	<b>Раздел 1. Введение</b>	3	<b>1</b> ÷ <b>2</b>				-			-	-	-	-	-	-	18-я нед	-	-	-	
2.	<b>Тема 1.1</b> Квантовые размерные эффекты. Наноструктуры	3	<b>1</b> ÷ <b>2</b>	6	4	2	-	6	2	4	-	-	-	3	-	-	-	2 ÷ 6 нед	-	-
2.1.	<b>Раздел 2. Базовые структуры полупроводниковой нанозлектроники</b>	3	<b>3</b> ÷ <b>13</b>				-				-	-	-	-	-	18-я нед	-	-	-	
2.2.	<b>Тема 2.1</b> Квантовые ямы, сверхрешетки, фотонные кристаллы	3	<b>3</b> ÷ <b>5</b>	9	6	3	-	9	3	6	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-

3.	<b>Тема 2.2</b> Квантовые точки	3	6 ÷ 8	9	6	3	-	9	3	6	-	-	-	9	-	-	-	8 ÷ 10 нед	-	-
3.1.	<b>Тема 2.3</b> Квантовые проволоки	3	9	3	2	1	-	3	1	2	-	-		10	-	-	-	-	-	-
3.2.	<b>Тема 2.4</b> Аллотропные соединения углерода.	3	10 ÷ 11	6	4	2	-	6	2	4	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-
4.	<b>Тема 2.5</b> Основные виды наноматериалов	3	12 ÷ 13	6	4	2	-	6	2	4	-	-	-	13	-	-	-	12 ÷ 14 нед.	-	-
4.1.	<b>Раздел 3. Основные виды структур полупроводниковой наноэлектроники и технологии их изготовления</b>	3	14 ÷ 18				-				-	-	-	-	-	-	18-я нед	16 ÷ 18 нед.	-	-
4.2.	<b>Тема 3.1</b> Технология создания структур нанометрового масштаба	3	14 ÷ 15	6	4	2	-	6	2	4	-	-	-	16	-	-	-	16-я нед.	-	-
5.	<b>Тема 3.2</b> Основные виды полупроводниковых наноструктур и их практическое использование	3	16 ÷ 17	6	4	2	-	6	2	4	-	-	-	18	-	-	-	18-я нед.	-	-
5.1.	<b>Тема 3.3</b> Резонансное туннелирование	3	18	3	2	1	-	3	1	2	-	-		18	-	-	-	18-я нед.	-	-
	<i>Курсовая работа (проект)</i>						-													
	<i>Подготовка к экзамену</i>						-	36					36							
	Общая трудоемкость, в часах			54	36	18	-	90	18	36	-	36	Промежуточная аттестация							
													Форма				Семестр			
													Зачет				-			
													Экзамен				3			

## 4.2 Содержание дисциплины

### Раздел 1. Введение

#### Тема 1.1. Квантовые размерные эффекты. Наноструктуры.

Основные характеристические длины. Понятие квантовых размерных эффектов (КРЭ). Условия существования КРЭ.

Основные определения (нанометр, наноструктура, наноматериал). Примеры наноструктур разной размерности. Наноструктуры как промежуточный объект между отдельными атомами и массивным материалом. Особенности физических и химических свойств наноструктур. Квантовые эффекты в наномире. Нанотехнология – основа третьей научно-технической революции.

### Раздел 2. Базовые структуры полупроводниковой наноэлектроники

#### Тема 2.1. Квантовые ямы, сверхрешетки, фотонные кристаллы

Квантовые ямы и тонкие полупроводниковые плёнки. Основные свойства. Методы получения. Влияние магнитного и электрического полей на свойства квантовых ям и сверхрешёток.

Работы Л.В. Келдыша, Л. Эсаки и Р. Цу, Э. Яблоновича.

Фотонные кристаллы – оптические сверхрешетки. Зонная теория фотонных кристаллов. Методы получения, роль процессов самоорганизации. Применения фотонных кристаллов. Световоды на фотонных кристаллах. Возможности оптического компьютера.

#### Тема 2.2. Квантовые точки

Определение. Основные физические и химические свойства. Методы получения. Роль процессов самоорганизации. Работы Ж.И. Алферова. Применения квантовых точек в медицине, электронике и информационных технологиях.

#### Тема 2.3. Квантовые проволоки.

Квантовые проволоки, нити и контакты. Определения. Квантование проводимости. Формула Латтинжера. Оптические свойства квантовых проволок. Возможные приборные приложения квантовых проволок.

#### Тема 2.4. Аллотропные соединения углерода

Фуллерены, история открытия, методы получения. Углеродные нанотрубки. Особенности электрических и механических свойств. Применения углеродных нанотрубок в наноэлектронике. Наноалмазы. Первый материал моноатомной толщины – графен. Неуглеродные нанотрубки.

#### Тема 2.5. Основные виды наноматериалов

Нанокристаллические материалы. Наноккомпозиты. Супрамолекулярные материалы. Нанопористые материалы. Тонкие пленки и покрытия. Методы получения, матричный синтез. Использование ДНК («липкие концы») для получения наноструктур. Гибридные материалы и биологическое материаловедение. «Умные» материалы. Применения наноматериалов, в том числе в быту (пленки и покрытия, спортивные товары) и в военном деле.

### Раздел 3. Основные виды структур полупроводниковой наноэлектроники и технологии их изготовления

#### Тема 3.1. Технология создания структур нанометрового масштаба

Обзор и первичное сравнение основных методов производства наноструктур – литографические и нелитографические методы. Методы и аппаратура контроля топологии – электронно-сканирующие, просвечивающие, атомно-силовые микроскопы. Технология осаждения ультратонких пленок различных материалов. Методы контроля электрофизических характеристик тонких пленок. Электронная и фотолитография. Зондовые методы создания наноструктур. Применение атомно-силового и туннельного микроскопов (АСМ) для создания структур атомного масштаба.

Эпитаксиальные методы и методы осаждения из газовой фазы при создании гетероструктур. Самоорганизация растущих нанокристаллов.

### **Тема 3.2. Основные виды полупроводниковых наноструктур и их практическое использование.**

Быстродействующие однофотонные детекторы на основе тонкопленочных полупроводниковых наноструктур и их основные характеристики. Лазеры терагерцового диапазона, полупроводниковые смесители на горячих электронах.

Принципы построения оптической линии связи. Источники ошибок и способы повышения надежности канала связи.

Направления и перспективы использования однофотонных детекторов, полупроводниковых смесителей на горячих электронах и болометров на сверхпроводящем переходе. Квантовая криптография.

### **Тема 3.3. Резонансное туннелирование.**

Резонансное туннелирование. Определение. Виды. Приборы на основе эффекта резонансного туннелирования.

## **5. Образовательные технологии**

Форма проведения теоретических занятий – интерактивные лекции с применением мультимедиа-технологий (электронные презентации).

Форма проведения практических занятий – семинары с применением мультимедиа-технологий.

Форма выполнения самостоятельной работы – реферат.

*Занятия, проводимые в интерактивных формах, с использованием интерактивных технологий составляют 80 % аудиторных занятий.*

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**

№	Тема	Вид	Задание	Рекомендуемая	Колич
---	------	-----	---------	---------------	-------

нед.		самостоятель ной работы		литература (см. п. 7)	ество часов
1÷2	Квантовые размерные эффекты. Наноструктуры	Подготовка к аудиторным занятиям  Реферат	Сбор и анализ информации. Подготовка докладов. Выступление	1÷3, 8, 11, 20	6
3÷5	Квантовые ямы, сверхрешетки, фотонные кристаллы	Подготовка к аудиторным занятиям  Реферат	Сбор и анализ информации. Подготовка докладов. Выступление	1, 2, 5, 6, 8÷10, 19, 20	9
6-8	Квантовые точки	Подготовка к аудиторным занятиям  Реферат	Сбор и анализ информации. Подготовка докладов. Выступление	1, 2, 8÷11, 19	9
9	Квантовые провода	Подготовка к аудиторным занятиям  Реферат	Сбор и анализ информации. Подготовка докладов. Выступление	1, 2, 6, 9, 11, 13, 19	3
10- 11	Аллотропные соединения углерода	Подготовка к аудиторным занятиям  Реферат	Сбор и анализ информации. Подготовка докладов. Выступление	1, 5, 6, 8, 13÷16	6
12- 13	Основные виды наноматериалов	Подготовка к аудиторным занятиям  Реферат	Сбор и анализ информации. Подготовка докладов. Выступление	1÷3, 5÷6, 8÷10, 13÷16	6
14- 15	Технология создания структур нанометрового масштаба	Подготовка к аудиторным занятиям  Реферат	Сбор и анализ информации. Подготовка докладов. Выступление	1, 2, 5, 6, 8, 10, 15, 20	6
16- 17	Основные виды полупроводниковых наноструктур и их практическое использование	Подготовка к аудиторным занятиям  Реферат	Сбор и анализ информации. Подготовка докладов. Выступление	1, 2, 5, 6, 9, 15, 16, 19, 20	6
18	Резонансное туннелирование	Подготовка к аудиторным занятиям  Реферат	Сбор и анализ информации. Подготовка докладов. Выступление	2÷4, 11÷13, 20	3

## 6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Реферат должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ с использованием Microsoft Word и должен содержать титульный лист, содержательную часть (в т.ч. иллюстрации и таблицы), словарь использованных терминов, проблемы развития и перспективы применения, выводы, список использованной литературы.

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

### *Контроль освоения компетенций*

№ п/п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1	Коллоквиум Доклад	Раздел 1. Введение Тема 1.1 Квантовые размерные эффекты. Наноструктуры. Раздел 2. Базовые структуры полупроводниковой наноэлектроники Тема 2.1 Квантовые ямы, сверхрешетки, фотонные кристаллы	ПК-2
2	Коллоквиум Доклад	Тема 2.2 Квантовые точки Тема 2.3 Квантовые проволоки.	ПК-2
3	Коллоквиум Доклад	Тема 2.4 Аллотропные соединения углерода Тема 2.5 Основные виды наноматериалов	ПК-2
4	Коллоквиум Доклад	Раздел 3. Основные виды структур полупроводниковой наноэлектроники и технологии их изготовления Тема 3.1 Технология создания структур нанометрового масштаба Тема 3.2 Основные виды полупроводниковых наноструктур и их практическое использование. Тема 3.3 Резонансное туннелирование.	ПК-2
5	Защита самостоятельной работы. Реферат	Избранные вопросы полупроводниковой наноэлектроники	ПК-2

### *Вопросы к коллоквиуму*

К теме 1.1:

- 1) Размерные эффекты. Основные характеристические длины в физике твердого тела. Классические и квантовые размерные эффекты. Условия их существования.
- 2) Перечислите известные Вам размерные эффекты.
- 3) Поясните, что включает в себя понятие «нанотехнологии». Нанотехнология как основа третьей научно-технической революции.



#### 4) Наноструктуры. Примеры. Основные особенности свойств наноструктур.

##### К теме 2.1:

- 1) Квантовые ямы. Основные свойства.
- 2) Методы выращивания квантовых ям.
- 3) Влияние электрического и магнитного полей на свойства квантовых ям.
- 4) Применение квантовых ям.
- 5) Сверхрешётки. Классификация. Основные свойства. Применение.
- 6) Квантовые каскадные лазеры.
- 7) Фотонные кристаллы. Основы зонной теории. Методы получения. Применения.

##### К теме. 2.2:

- 1) Понятие «квантовая точка». Боровский радиус экситона.
- 2) Оптические свойства квантовых точек.
- 3) Методы получения квантовых точек. Методы Фолмера – Вебера и Франка – ван дер Мерве.
- 4) Методы получения квантовых точек. Метод Странского – Крастанова (метод самоорганизованного роста).
- 5) Применения квантовых точек в медицине, электронике и информационных технологиях.

##### К теме. 2.3:

- 1) Раскройте понятия «квантовая проволока», «квантовая нить», «квантовый канал».
- 2) Оптические и транспортные свойства квантовых проволок. Формула Ландауэра-Бюттикера.
- 3) Возможные применения квантовых проволок.

##### К теме 2.4:

- 1) Фуллерены: история открытия, методы получения. Свойства.
- 2) Углеродные нанотрубки. Особенности электрических и механических свойств.
- 3) Применения углеродных нанотрубок в нанoeлектронике.
- 4) Наноалмазы. Первый материал моноатомной толщины – графен.
- 5) Неуглеродные нанотрубки.

##### К теме 2.5:

- 1) Нанокристаллические материалы. Нанокompозиты. Супрамолекулярные материалы. Нанопористые материалы.
- 2) Гибридные материалы и биологическое материаловедение. «Умные» материалы.
- 3) Применения наноматериалов, в том числе в быту и в военном деле.

##### К теме 3.1:

- 1) Литографические и нелитографические методы получения наноструктур.
- 2) Зондовые методы создания наноструктур.
- 3) Эпитаксиальные методы роста наноструктур.
- 4) Роль процессов самоорганизации в создании наноструктур.

##### К теме 3.2:

- 1) Быстродействующие однофотонные детекторы на основе тонкопленочных полупроводниковых наноструктур
- 2) Лазеры терагерцового диапазона, полупроводниковые смесители на горячих электронах.

- 3) Волоконно-оптическая связь: принципы построения оптической линии связи; источники ошибок и способы повышения надежности канала связи.
- 4) Квантовая криптография. Принципы, перспективы развития и проблемы.

К теме 3.3:

- 1) Эффект Зинера. Способы получения резонансного туннелирования.
- 2) Приборные приложения эффекта резонансного туннелирования.

**Темы рефератов:**

1. «Квантовые ямы: применение».
2. «Квантово-каскадные лазеры: области применения, новейшие разработки и достижения».
3. «Квантовые точки: применение в биомедицине».
4. «Квантовые точки: применение в электронике».
5. «Лазеры на квантовых точках».
6. «Квантовые проволоки: особенности проводимости и приборные применения».
7. «Углеродные нанотрубки. Свойства, симметрия, хиральность. Приборные применения».
8. «Графен. Получение, свойства, возможные применения».
9. «Фуллерены».
10. «Фотонные кристаллы».
11. «Квантовая криптография».
12. «Использование полупроводниковой наноэлектроники в волоконно-оптических линиях связи».
13. «История и будущее полупроводниковых наноструктур».
14. «Пределы миниатюризации, надёжность и другие проблемы современной наноэлектроники».

**Вопросы и задания к экзамену**

1. Размерные эффекты. Характерные физические длины. Примеры квантово-размерного эффекта.
2. Классификация систем пониженной размерности. Примеры двумерных, одномерных и нульмерных структур.
3. Квантовые ямы. Строение, свойства. Условия существования квантово-размерного эффекта в квантовых ямах.
4. Методы изготовления квантовых ям.
5. Оптические и транспортные свойства квантовых ям.
6. Сверхрешётки. Идея Л.В. Келдыша. Идея Есаки и Цу. Классификация полупроводниковых сверхрешёток.
7. Виды сверхрешёток. Композиционные, легированные, политипные и модулированные сверхрешётки. Способы изготовления сверхрешёток.
8. Квантовые проволоки: определение, методы выращивания. Свойства квантовых проволок.
9. Проводимость квантовых проволок в квазибаллистическом и диффузном режимах. Электропроводность квантовых проволок.
10. Квантовые точки. Определения. Виды. Энергетический спектр.
11. Оптические свойства квантовых точек. Межзонные и внутризонные переходы. Люминесценция квантовых точек.
12. Методы изготовления квантовых точек: Странски – Крастанова, Фолмера – Вебера, Франка – ван дер Мерве. Другие известные вам методы.
13. Применения квантовых точек в медицине, электронике и средствах связи.
14. Квантово-каскадные лазеры. Полосковые лазеры. Принцип действия, применения.
15. Лазеры на квантовых точках. Вертикально-излучающие лазеры. Применения.

16. Лазеры на квантовых проволоках. Перспективы создания. Возможные применения.
17. Литографические и нелитографические методы получения наноструктур. Методы контроля осаждения тонких плёнок различных материалов.
18. Фотонные кристаллы. Виды. Теория строения и методы получения. Свойства.
19. Графен. История открытия. Нобелевские лауреаты по физике – 2010: первооткрыватели графена. Электрооптические, транспортные и магнитооптические свойства графена.
20. Углеродные нанотрубки. Разновидности. Оптические и транспортные свойства. Применение.
21. Современные наноматериалы: нанокристаллические материалы, нанокompозиты, супрамолекулярные материалы, нанопористые плёнки. Тонкие пленки и покрытия.
22. Методы получения и матричный синтез наноматериалов. «Умные» материалы. Применения наноматериалов, в том числе в быту (пленки и покрытия, спортивные товары) и в военном деле.
23. Резонансное туннелирование: резонансное последовательное туннелирование; резонансное когерентное туннелирование. Резонансно-туннельный диод и резонансно-туннельный транзистор (триод). ВАХ двухбарьерных структур. Особенности туннелирования через двухбарьерную структуру.
24. Применение резонансно-туннельных диодов в структурах наноэлектроники и в сфере информационных технологий.
25. Быстродействующие однофотонные детекторы и матричные элементы на основе полупроводниковых квантовых ям. Основные характеристики, проблемы и перспективы создания и применения.
26. Волоконно-оптическая связь. Принципы построения оптической линии связи. Источники ошибок и способы повышения надежности канала связи.
27. Квантовая криптография.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Основы наноэлектроники»**

### а) основная литература:

1. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии [Электронный ресурс]: — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2009. — 414 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2173](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2173) — Загл. с экрана (неограниченный доступ).
2. Федоров А.В. «Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур», СПб: СПбГУ ИТМО, 2009 – 195 с. <http://window.edu.ru/resource/740/63740> (неограниченный доступ)
3. Зегря Г.Г., Перель В.И.. Основы физики полупроводников – [Электронный ресурс]: — Электрон. дан. — М.: Физматлит, 2009 – 336 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2371](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2371) — Загл. с экрана (неограниченный доступ).
4. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики [Электронный ресурс]: учебное пособие. – Электрон. дан. – СПб: Лань, 2004. – 665 с. – Режим доступа: [https://e.lanbook.com/book/619?category\\_pk=918#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/619?category_pk=918#book_name) – Загл. с экрана (неограниченный доступ).

### б) Дополнительная литература:

5. Нанотехнологии в электронике. Выпуск 2 [Электронный ресурс]: — Электрон. дан. — Москва: Техносфера, 2013. — 688 с. – Режим доступа:

- [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=76156](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=76156) — Загл. с экрана (неограниченный доступ).
6. Нанотехнологии в электронике-3.1. [Электронный ресурс]: — Электрон. дан. — Москва: Техносфера, 2016. — 480 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=87746](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=87746) — Загл. с экрана — (неограниченный доступ).
7. Неволин, В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике [Электронный ресурс]: монография. — Электрон. дан. — Москва: Техносфера, 2014. — 174 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=73521](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=73521) — Загл. с экрана (неограниченный доступ).
8. Гуртов В.А., Артамонов О.Н., Ветров А.С. Твердотельная электроника: Учебное пособие. — М.: Техносфера, 2005 — 408 с. <http://window.edu.ru/resource/387/47387> (неограниченный доступ)
9. Гуртов В.А. Оптоэлектроника и волоконная оптика: Учебное пособие. — Петрозаводск. Изд-во ПетрГУ, 2005 – 239 с. <http://window.edu.ru/resource/066/65066> (неограниченный доступ)
10. Пул Ч., Оуэнс Ф., Нанотехнологии (2-е изд.), М., Техносфера, 2005 г. [http://kleopatra.pnzgu.ru/cgi-bin/irbis64r\\_91/cgiirbis\\_64.exe?P21DBN=KATL&I21DBN=KATL\\_PRINT&S21FMT=fullw\\_print&C21COM=F&Z21MFN=5613](http://kleopatra.pnzgu.ru/cgi-bin/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe?P21DBN=KATL&I21DBN=KATL_PRINT&S21FMT=fullw_print&C21COM=F&Z21MFN=5613)
11. Овчинников А.А. и др. Введение в современную мезоскопию. Пенза: Информ.-изд. центр ПГУ, 2003 – 572 с. [http://kleopatra.pnzgu.ru/cgi-bin/irbis64r\\_91/cgiirbis\\_64.exe?P21DBN=KATL&I21DBN=KATL\\_PRINT&S21FMT=fullw\\_print&C21COM=F&Z21MFN=5659](http://kleopatra.pnzgu.ru/cgi-bin/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe?P21DBN=KATL&I21DBN=KATL_PRINT&S21FMT=fullw_print&C21COM=F&Z21MFN=5659)
12. Ткалич В.Л., Макеева А.В., Оборина Е.Е. Физические основы наноэлектроники: Учебное пособие. — СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. — 83 с. <http://window.edu.ru/resource/415/73415> (неограниченный доступ)
13. Марголин В. И. Введение в нанотехнологию [Электронный ресурс]: учебное пособие / Марголин В. И., Жабров В. А., Лукьянов Г. Н. [и др.]. — Электрон. дан. — СПб: Лань, 2012. — 458 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=4310](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=4310) — Загл. с экрана (неограниченный доступ).
14. Мищенко С.В., Ткачёв А.Г. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение: монография. М. Машиностроение, 2008 — 320 с. <http://window.edu.ru/resource/102/64102> (неограниченный доступ)
15. Нанотехнологии в физике. Изучение структурных типов углеродных нанотрубок: учебно-методическое пособие / Воронеж. гос. ун-т; сост.: Л.А. Битюцкая, Е.С. Машкина, Е.Н. Бормонтов. — Воронеж: ЛОП ВГУ, 2006. — 38 с. <http://window.edu.ru/resource/528/73528> (неограниченный доступ).
16. Курочкин В.Л. Экспериментальные исследования в области квантовой криптографии / В.Л. Курочкин, Ю.В. Курочкин, И.Г. Неизвестный // Фотоника – 2012 – №5 (35) – С. 54-66. <http://www.photonics.su/journal/article/3425>
17. Молотков С.Н. Об интегрировании квантовых систем засекреченной связи (квантовой криптографии) в оптоволоконные телекоммуникационные системы // Письма в ЖЭТФ – 2004 – Т. 79 – вып. 11 – С. 691-704. [http://www.jetpletters.ac.ru/ps/357/article\\_5630.shtml](http://www.jetpletters.ac.ru/ps/357/article_5630.shtml)
18. Алферов Ж.И. История и будущее полупроводниковых гетероструктур // ФТП – 1998 – Т. 1 – С. 3-18. <http://www.journals.ioffe.ru/articles/34218>
19. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. – М.: Логос, 2000 – 248 с.

[http://kleopatra.pnzgu.ru/cgi-bin/irbis64r\\_91/cgiirbis\\_64.exe?P21DBN=KATL&I21DBN=KATL\\_PRINT&S21FMT=fullw\\_print&C21COM=F&Z21MFN=3542](http://kleopatra.pnzgu.ru/cgi-bin/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe?P21DBN=KATL&I21DBN=KATL_PRINT&S21FMT=fullw_print&C21COM=F&Z21MFN=3542)

20. Гридчин В. А.; Драгунов В. П. Физика микросистем. В 2-х ч.: учеб. пособие – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2004 – Ч.2. – 416 с.

[http://kleopatra.pnzgu.ru/cgi-bin/irbis64r\\_91/cgiirbis\\_64.exe?P21DBN=KATL&I21DBN=KATL\\_PRINT&S21FMT=fullw\\_print&C21COM=F&Z21MFN=5017](http://kleopatra.pnzgu.ru/cgi-bin/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe?P21DBN=KATL&I21DBN=KATL_PRINT&S21FMT=fullw_print&C21COM=F&Z21MFN=5017)

### **Интернет-ресурсы**

К рекомендуемым интернет-ресурсам по данной дисциплине относятся интернет-ресурсы ведущих российских и зарубежных журналов, а также образовательные порталы и сайты ведущих российских университетов.

Интернет-ресурсы ведущих российских журналов по данной тематике:

[www.journals.ioffe.ru / ftt](http://www.journals.ioffe.ru/ftt) — «Физика твёрдого тела»

[www.journals.ioffe.ru / ftp](http://www.journals.ioffe.ru/ftp) — «Физика и техника полупроводников»

[www.journals.ioffe.ru / pjtf](http://www.journals.ioffe.ru/pjtf) — «Письма в журнал технической физики»

[www.journals.ioffe.ru / jtf](http://www.journals.ioffe.ru/jtf) — «Журнал технической физики»

[www.jetp.ac.ru](http://www.jetp.ac.ru) — ЖЭТФ

[www.jetpletters.ac.ru](http://www.jetpletters.ac.ru) — «Письма в ЖЭТФ»

[www.ufn.ru](http://www.ufn.ru) — «Успехи физических наук»

[www.quantum-electron.ru](http://www.quantum-electron.ru) – «Квантовая электроника»

[www.photonics.su](http://www.photonics.su) – «Фотоника»

[www.nanoru.ru](http://www.nanoru.ru) – «Российские нанотехнологии»

Интернет-ресурсы иностранных журналов

[www.aps.org](http://www.aps.org)

Другие интернет-ресурсы: единое окно доступа к информационным ресурсам

<http://window.edu.ru>; <https://elibrary.ru>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Основы нанoeлектроники»**

Для освоения данной дисциплины необходимы:

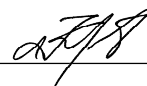
- мультимедийные средства обучения (компьютер и проектор; ресурсы Интернета);
- электронные презентации по теме курса. Для подготовки материала к занятиям требуется программный пакет MS Office 2003 и выше, прикладные математические программы Mathcad 14, Mathematics 5.0, Maple 9.0 и выше.

Рабочая программа дисциплины «Основы наноэлектроники» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 «Физика».

Программу составил:

1. Кревчик В.Д., д.ф.-м.н., профессор

(Ф.И.О., должность, подпись)




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

Программа одобрена на заседании кафедры «Физика»

Протокол № 3

от « 19 » ноября 2015 года

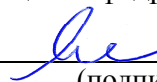
Зав. кафедрой «Физика»

 Семенов М.Б.  
(подпись, Ф.И.О.)

Программа согласована с заведующим выпускающей кафедрой

«Физика»

(название кафедры)


 Семенов М.Б. 19.11.2015  
(подпись, Ф.И.О., дата)

Программа одобрена методической комиссией факультета приборостроения, информационных технологий и электроники

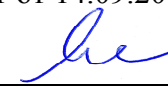
Протокол № 4

от « 30 » ноября 2015 года

Председатель методической комиссии  
факультета приборостроения,  
информационных технологий и электроники

 Задера А.В.  
(подпись) (Ф.И.О.)

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

Учебный год	Решение кафедры (№ протокола, дата, подпись зав. кафедрой)	Внесенные изменения	Номера листов (страниц)		
			замененных	новых	аннулированных
2016-2017	№1 от 9.09.2016 г. 	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	11-13		
2017-2018	№1 от 14.09.2017 г. 	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	11-13		
2018-2019	№1 от 3.09.2018 	Изменений нет			
2019-2020	№1 от 12.09.2019 	Изменений нет			