

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Владимирский государственный университет**  
**имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
(ВлГУ)



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор  
по учебно-методической работе

\_\_\_\_\_ А.А.Панфилов

« 07 » 04 2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ**

(наименование дисциплины)

Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль/программа подготовки

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
5	5/180	36	36	-	63	Экзамен (45)
Итого	5/180	36	36	-	63	Экзамен (45)

Владимир 2015

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины (модуля) «Физические основы микро- и наносистемной техники» является формирование у учащихся блоков физических знаний для изучения методов исследования микро и нано объектов, включающих методы наблюдения, технологии формирования и получения, а также физические основы моделирования и экспериментальных исследований специфических свойств систем микро- и нано- диапазона.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Физические основы микро- и наносистемной техники» относится к базовой части ОПОП направления 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника и предполагает наличие у студентов знания следующих дисциплин: «Математика», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Физика», «Химия», «Квантовая и статистическая физика», «Введение в нанотехнологии», «Компьютерное моделирование».

Успешное освоение дисциплины «Физические основы микро- и наносистемной техники» предполагает наличие у обучающихся знаний, умений и готовностей, полученных при изучении указанных дисциплин и в ходе прохождения учебной практики.

Освоение дисциплины «Физические основы микро- и наносистемной техники» необходимо для изучения курсов «Материаловедение наноструктурированных материалов», «Процессы микро- и нанотехнологии», «Микрооптика и фотоника» и др., а также для эффективного выбора направлений и методов научно-исследовательской работы, выполняемой обучающимися в девятом семестре, и дальнейшей подготовки выпускной квалификационной работы.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

В результате изучения дисциплины «Физические основы микро- и наносистемной техники» обучающийся должен освоить следующие компетенции:

ОПК-2: способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;

ПК-3: готовностью анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.

В результате освоения дисциплины «Физические основы микро- и наносистемной техники» обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1) **Знать:** естественнонаучную сущность явлений и процессов, возникающих в ходе исследования и применения микро и нано систем, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2, ПК-3);

2) **Уметь:** использовать соответствующий физико-математический аппарат для решения задач исследования явлений и процессов возникающих в ходе использования и применения микро и нано систем в профессиональной деятельности (ОПК-2, ПК-3);

3) **Владеть:** соответствующим физико-математическим аппаратом и способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе применения микро и нано систем, в профессиональной деятельности (ОПК-2, ПК-3).

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)



Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС	КП / КР		
1	Введение. Физика методов и техники исследования микро- и наносистем.	5	1-7	6	6	-	-	8	-	4/33,3%	-
2	Квантово-механические основы микро- наносистемной техники.	5	8-15	8	8	-	-	16	-	6/38%	рейтинг-контроль №1
3	Физические основы моделирования процессов в нанотехнологии.	5	14-16	12	12	-	-	22	-	10/42%	рейтинг-контроль №2
4	Элементная база nano электроники. Производство nano материалов	5	17-18	10	10	-	-	17	-	8/40%	рейтинг-контроль №3
Всего		5	18	36	36	-	-	63	-	28/39%	Экзамен 45ч

### Лекции

№ модуля дисциплины	№ п/п	Наименование и/или краткое содержание практических занятий	Трудоёмкость (часов)
Раздел 1.	1	Лекция 1. Введение. Мир nano технологий. Методы исследований.	2
	2	Лекция 2. Оптическая микроскопия. Пределы разрешения.	2
	3	Лекция 3. Электронные микроскопы: растровый, туннельный, зондовый. АСТМ.	2
	4	Лекция 4. Дифракционные приборы для nano технологий.	2
	5	Лекция 5. Приборы для молекулярно-лучевой эпитаксии. Спектральные приборы.	2
Раздел 2.	6	Лекция 6. Квантово-механические системы. Математический аппарат квантовой механики.	2
	7	Лекция 7. Квантово-механические основы микро- и nano системной техники.	2
	8	Лекция 8. Уравнение Шредингера. Статистический характер законов движения.	2
	9	Лекция 9. Некоторые задачи квантовой механики. Частица в потенциальном ящике.	2
	10	Лекция 10. Квазичастицы в конденсированных средах.	2
Раздел 3.	11	Лекция 11. Физические и химические свойства макро и nano структур.	2
	12	Лекция 12. Термодинамика и статистика в малых объёмах. Процессы самоорганизации.	2
	13	Лекция 13. Электрические и магнитные явления в микро и nano системах.	2
	14	Лекция 14. Сверхпроводимость	2

	15	Лекция 15. Классификация структур. Фотонные кристаллы и сверх решетки. Гетеро структуры.	2
Раздел 4.	16	Лекция 16. Классификация малоразмерных микро и нано объектов. Квантовые точки. Трубки и нити. Кластеры.	2
	17	Лекция 17. Технологии сборки нано систем. Установки для производства УНТ. Получение графена.	2
	18	Лекция 18. Установки для создания одномерных гетеро структур и сборка сверх решеток в АСМ.	2
<b>ИТОГО:</b>			<b>36</b>

#### Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ п/п	Наименование и/или краткое содержание практических занятий	Трудоёмкость (часов)
Раздел 1.	1	Занятие 1. Введение. Мир нано технологий. Методы исследований. Оптическая и электронная микроскопия.	2
	2	Занятие 2. Дифракционные приборы для нано технологий.	2
	3	Занятие 3. Электронные микроскопы: растровый, туннельный, зондовый. АСТМ.	2
	4	Занятие 4. Спектральные приборы.	2
	5	Занятие 5. Приборы для молекулярно-лучевой эпитаксии.	2
Раздел 2.	6	Занятие 6. Квантово-механические системы. Математический аппарат квантовой механики.	2
	7	Занятие 7. Квантово-механические основы микро- и нано системной техники.	2
	8	Занятие 8. Уравнение Шредингера. Статистический характер законов движения.	2
	9	Занятие 9. Некоторые задачи квантовой механики. Частица в потенциальном ящике.	2
	10	Занятие 10. Квазичастицы в конденсированных средах.	2
Раздел 3.	11	Занятие 11. Физические и химические свойства макро и нано структур.	2
	12	Занятие 12. Термодинамика и статистика в малых объёмах. Процессы самоорганизации.	2
	13	Занятие 13. Электрические и магнитные явления в микро и нано системах.	2
	14	Занятие 14. Сверхпроводимость	2
	15	Занятие 15. Классификация структур. Фотонные кристаллы и сверх решетки. Гетеро структуры.	2
Раздел 4.	16	Занятие 16. Классификация малоразмерных микро и нано объектов. Квантовые точки. Трубки и нити. Кластеры.	2
	17	Занятие 17. Технологии сборки нано систем. Установки для производства УНТ. Получение графена.	2
	18	Занятие 18. Установки для создания одномерных гетеро структур и сборка сверх решеток в АСМ.	2
<b>ИТОГО:</b>			<b>18</b>

#### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Проведение лекционных занятий обеспечено специализированными аудиториями, оборудованными компьютерами и электронными проекторами, что позволяет сопровождать чтение лекций демонстрацией компьютерных слайдов.

В рамках лекционного курса используются также следующие технологии:

- Изучение реальных микро и нано объектов с помощью электронного и атомно-силового микроскопов в научных лабораториях кафедры. Компьютерные симуляции роста и динамики нано объектов.



• Технология проблемного обучения (case-study). При рассмотрении вопросов практического применения рассмотренного теоретического материала, используется диалог со студентами на предмет возможных способов решения поставленной задачи.

Встречи с учеными и специалистами, работающими в направлении развития и использования перспективных нано систем и нано технологий.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **а) вопросы рейтинг-контроля:**

#### **Рейтинг-контроль 1**

1. Микро и нано структуры. Особенности и свойства.
2. Физические принципы работы растрового электронного микроскопа.
3. Физические принципы оптической микроскопии. Пределы разрешения.
4. Физические принципы работы туннельного электронного микроскопа.
5. Физические принципы работы зондового и атомно-силового микроскопов.
6. Гипотеза де Бройля? В каком микроскопе «работают» волны де Бройля?
7. Состояние системы. Уравнения Шредингера. Физический смысл волновой функции.
8. Квантовомеханические задачи. Частица в потенциальном ящике.
9. Квантовомеханические задачи. Квантовомеханический осциллятор.
10. Квантовомеханические задачи. Туннельный эффект.
11. Квантовомеханические задачи. Квантовый осциллятор.

#### **Рейтинг-контроль 2**

1. Устройство рентгеновского флуоресцентного спектрометра.
2. Устройство рентгеновского монокристалльного и порошкового дифрактометра.
3. Особенности энергетических спектров атомов, молекул и твердых кристаллических тел.
4. Основные представления зонной теории твердых тел. Методы определения структуры твердых тел.
5. Зонная структура диэлектриков.
6. Зонная структура полупроводников.
7. Зонная структуры металлов.
8. Дифрактометрические методы для исследования моно-, поли- и квазикристаллов.
9. Квазичастицы. Свойства и энергия квазичастиц.
10. Статистические свойства квазичастиц. Теплоёмкость и электропроводность.
11. Уровни Ферми. Поверхность Ферми.

#### **Рейтинг-контроль 3**

1. Кооперативные эффекты в микро и нано системах. Самоорганизация.
2. Физические основы процессов самоорганизации.
3. Образование поверхностных структур под действием лазерного излучения.
4. Основы нано структурного анализа. Физические и химические свойства нано структур.
5. Классификация нано систем. Фотонные кристаллы. квантовые точки.
6. Гетероструктуры. Сверхрешетки и их симметрия.
7. Элементная база нано электроники. Производство наноматериалов.
8. Физико-химические основы производства УНТ.
9. Графен. Свойства и способы получения.
10. Установки для создания одномерных гетеро структур.
11. Сборка структур и сверх решеток в атомно силовом микроскопе.
12. Лазерные нано- технологии. Перспективные развития техники для нано технологий.

### **б) Вопросы к самостоятельной работе студента:**

1. Какое устройство должна иметь линза в электронном микроскопе?
2. Разрешающая способность оптической, электронной и ионной микроскопии.
3. Физика построения изображения в оптическом и электронном микроскопах.
4. Иммерсионная микроскопия.
5. Какую роль играют решетки в спектральных приборах?
6. Имеем: 1)  $n$ -нейтроны; 2)  $\alpha$ -частицы; 3)  $e^+$ -позитроны; 4) протоны. В каких нанотехнологических системах используются волновые свойства этих элементарных частиц?
7. Что произойдет со структурой энергетических уровней, если атомы объединяются в нанокластеры или в твердое тело?
8. Для какой наноструктуры использовалось в расчетах нестационарное уравнение в четырехмерном пространстве?
9. Какие частицы и какое явление определяет структуры при абляции лазером?
10. В полупроводниковом нанокластере появился экситон. Как рассчитывать для него спектр излучения?
11. Какое воздействие на нанокластер окажет процесс превращения пиона в два фотона? Какой тип взаимодействия «работает» в АСМ?
12. Что общего имеют нанокластер и одномерный «потенциальный ящик»? Как узнать форму трехмерного «ящика», образованного нанокластером, квантовой точкой?
13. Какое взаимодействие является основным для нанокластеров?
14. Какое взаимодействие «работает» в масс-спектрографе?

**в) Вопросы к экзамену:**

1. Техника исследования микро- и наносистем. Классификация установок.
2. Дифракционные приборы для нанотехнологий.
3. Растровый, туннельный, зондовый и АСТМ - электронные микроскопы.
4. Приборы для молекулярно-лучевой эпитаксии. Масс-спектрограф. Спектральные приборы.
5. Квантовомеханические системы. Математический аппарат квантовой механики. Операторы.
6. Состояние системы. Уравнения Шредингера. Физический смысл волновой функции.
7. Частица в потенциальной яме. Туннелирование частиц.
8. Квантовомеханические задачи. Частица в потенциальном ящике. Квантовомеханический осциллятор.
9. Гипотеза Планка. Каковы основные характеристики фотона?
10. Гипотеза де Бройля? Какие свойства микрообъекта отражает соотношение неопределенностей Гейзенберга?
11. Основные положения квантовой механики. Стационарное и нестационарное уравнения Шредингера.
11. Квазичастицы. Масса и энергия квазичастиц.
12. Статистика бозонного газа. Лазеры.
13. Статистика фермионного газа. Поверхность и энергия Ферми.
14. Особенности энергетических спектров атомов, молекул и твердых кристаллических тел. Основные представления зонной теории твердых тел.
15. Методы определения структуры твердых тел. Дифрактометрические методы для исследования моно-, поли- и квазикристаллов.
16. Наноструктуры и нанотехнологии: нанотрубки, одноатомные слои, квантовые точки, гетероструктуры и сверхрешетки.
17. Физико-химические методы получения нанобъектов. Основы молекулярно-лучевой эпитаксии.
18. Основные квантоворазмерные эффекты. Эффект кулоновской блокады.
19. Физические основы электронной микроскопии. Типы современных электронных микроскопов.
20. Методы наноструктурного исследования кластеров. Физические основы масс-спектроскопии.



21. Аппаратура для проведения дифракционных исследований нано материалов.
22. Аппаратура для масс-спектроскопических исследований.
23. Аппаратура для молекулярно-лучевой эпитаксии.
24. Установки для получения нано углеродных материалов.
25. Применение и перспективы развития нано технологий. Элементы метрологии в нано технологиях.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **а) основная литература:**

1. Методы получения и свойства нанообъектов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н.И. Минько, В.В. Строкова, И.В. Жерновский, В.М. Нарцев. - 2-е изд., стер. - М. : ФЛИНТА, 2013.
2. Особенности электропроводности наноструктурированных систем : учеб. пособие / С. М. Аракелян [и др.] ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2015. – 108 с. – ISBN 978-5-9984-0585-3.
3. Компьютерное моделирование наночастиц и наносистем [Электронный ресурс] / Заводинский В.Г - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013.

### **б) дополнительная литература:**

1. Рамбиди, Н.Г. Физические и химические основы нанотехнологий [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.Г. Рамбиди, А.В. Берёзкин. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2009. — 454 с.
2. Бычков, С.П. Физические основы микро- и нанотехнологий [Электронный ресурс]: . — Электрон. дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана (Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана), 2009. — 175 с.
3. Лазерное наноструктурирование материалов: методы реализации и диагностики: учеб. пособие / С.М. Аракелян [и др.] ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 140 с. ISBN 978-5-9984-0083-4

### **в) периодические издания:**

1. Успехи физических наук [www.ufn.ru](http://www.ufn.ru)
2. Журнал технической физики <http://journals.ioffe.ru/>
3. Журнал композиты и нано структуры <http://www.issp.ac.ru/journal/composites/russian.html>

### **г) интернет-ресурсы:**

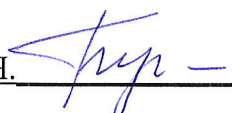
1. Фундаментальные основы нано наук и компьютерный инжиниринг наносистем <http://compnano.lgb.ru/theory/>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

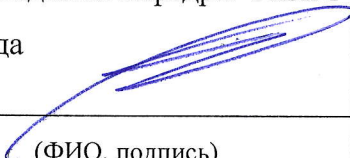
Преподавание дисциплины предусматривает применение мультимедийных презентаций и компьютерных симуляций, что обеспечивается проведением занятий в оборудованных мультимедийным оборудованием аудиториях кафедры ФиПМ. Для обеспечения проведения практических работ имеются компьютерные классы кафедры ФиПМ.

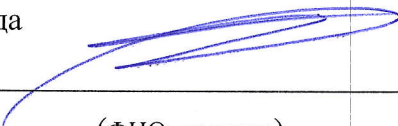
Для обеспечения проведения лабораторных работ имеются специализированные учебно-научные лаборатории, оборудованные современным оборудованием (лаб. 107-3, 107а-3, 419-3, 123-3).

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Рабочую программу составил профессор кафедры ФиПМ, Бутковский О.Я.  
(ФИО, подпись) 

Рецензент  
(представитель работодателя) Ан. Антенин А.А. Ин. спец. наук - тех. наук  
(место работы, должность, ФИО, подпись)  
ФКПТ ГАПТ Рязань

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ  
Протокол № 11 от 07.04.15 года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись) 

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
Протокол № 11 от 07.04.15 года  
Председатель комиссии \_\_\_\_\_ Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись) 

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год  
Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год  
Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год  
Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_