

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»

Институт электронных и информационных систем  
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники



Директор ИЭИС, профессор  
С.И.Эминов  
«29» 09 2017 г.

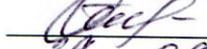
## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Учебный модуль по направлению подготовки  
11.03.04 – Электроника и нанoeлектроника

Рабочая программа

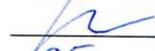
СОГЛАСОВАНО

Начальник учебного отдела

  
О.Б.Широколобова  
«29» 09 2017 г.

Разработал

Профессор КФТТМ

  
М.А.Захаров  
«05» 06 2017 г.

Принято на заседании КФТТМ

Протокол № 11 от 05 06 2017 г.

Заведующий кафедрой

  
Б.И.Селезнев

## 1 Цели освоения учебного модуля

Цель учебного модуля (УМ) «Физические основы наноэлектроники» – развитие компетентности студентов в области основных понятий, методов и физических закономерностей, определяющих поведение частиц и систем на микро- и наноскопическом уровнях в рамках квантовомеханического подхода.

Основные задачи УМ:

В результате изучения УМ студенты должны:

- знать особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности;
- знать методы решения уравнений, описывающих движения микрочастиц в системах пониженной размерности;
- знать особенности распределения плотности состояний в наносистемах;
- уметь использовать приближенные методы квантовой механики и квантовой химии для решения конкретных задач наноэлектроники;
- иметь представление об методах описания кинетических процессов в наносистемах.

Ведущая идея УМ – изучение физических основ наноэлектроники имеет фундаментальное значение для понимания и исследования свойств современных материалов и приборов электронной техники.

## 2 Место учебного модуля в структуре ОП направления подготовки

В соответствии с учебными планами подготовки бакалавров по направлению 11.03.04 – Электроника и наноэлектроника УМ «Физические основы наноэлектроники» входит в вариативную часть блока 1 и преподается в седьмом семестре.

Изложение курса базируется на знаниях, полученных при изучении курсов «Физика», «Математика», «Физическая химия материалов и процессов электронной техники», «Квантовая механика и статистическая физика», «Основы проектирования и технологии электронной компонентной базы».

В результате изучения предшествующих модулей и для изучения УМ «Физические основы наноэлектроники», обучающиеся должны:

**знать:** основные законы, определения и понятия классической и квантовой физики, основные физические явления, их суть и интерпретации, алгоритмы решения физических задач;

**уметь:** использовать основные методы квантовой механики и статистической физики;

**владеть:** аппаратом дифференциального и интегрального исчислений, а также методиками решения типовых физических задач.

Знания и умения, полученные при изучении данного модуля, используются при подготовке выпускной квалификационной работы.

### 3 Требования к результатам освоения учебного модуля

Процесс изучения УМ направлен на формирование следующих компетенций:

- ОПК-1 – Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;

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

- ПК-1 – Способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования.

В результате освоения УМ «Физические основы наноэлектроники» студент должен знать, уметь и владеть:

Код компетенции	Уровень освоения компетенции	Знать	Уметь	Владеть
ОПК-1	базовый	Основные физические явления, наблюдающиеся в наноразмерных системах и объектах пониженной размерности.	Применять основные приближенные методы квантовой механики и статистической физики для решения конкретных задач наноэлектроники.	Основными методами квантовой механики для расчета энергетического спектра систем пониженной размерности; основными методами кинетической теории для расчета процессов переноса в неравновесных наносистемах.
ОПК-2	базовый	Физическую сущность явлений и процессов, происходящих в наноразмерных системах и объектах пониженной размерности.		
ПК-1	базовый		Находить правильные и оптимальные способы описания конкретных наноразмерных систем в рамках квантовомеханического подхода или статистического подхода.	Методикой физически интерпретировать результаты расчетов квантовомеханических и статистических характеристик наноразмерных систем.

## 4 Структура и содержание учебного модуля

### 4.1 Трудоемкость учебного модуля

Учебная работа (УР)	Распределение по семестрам	Коды формируемых компетенций
	7 сем.	
<b>Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах (ЗЕ)</b>	6	
<b>Распределение трудоемкости по видам УР в академических часах (АЧ):</b>	216	
- лекции	36	ОПК-1, ОПК-2, ПК-1
- практические занятия	54	
- аудиторная СРС	18	
- внеаудиторная СРС	126	
<b>Аттестация:</b>		
- экзамен	36	

### 4.2 Содержание и структура разделов учебного модуля

#### Раздел 1. Введение

Назначение и содержание курса. Связь с квантовой физикой твердого тела и статистической физикой. Роль квантовых явлений в современной нанoeлектронике. Роль размерных эффектов.

#### Раздел 2. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности

Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке. Коэффициенты отражения и прохождения, их физический смысл. Эффективная глубина проникновения под барьер. Потенциальный барьер конечной ширины. Туннельный эффект. Понятие проницаемости барьера. Интерференционные эффекты при надбарьерном пролете частиц. Осцилляции коэффициентов прохождения и отражения. Резонансные и антирезонансные состояния. Частица в прямоугольной потенциальной яме. Локализованные состояния. Особенности движения частиц над потенциальной ямой. Осцилляции коэффициентов прохождения и отражения. Движение в сферически симметричной потенциальной яме. Модель «жестких стенок». Атомные орбитали. Энергетический спектр и волновые функции линейного, плоского и сферического осциллятора. Операторы рождения и уничтожения. Метод вторичного квантования. Структура со сдвоенной квантовой ямой.

Движение в дельта-образном потенциале. Граничные условия и существование связанных состояний. Прохождение частиц через многобарьерные квантовые структуры. Модель Кронига-Пенни. Элементы зонной теории. Энергетический спектр сверхрешеток. Классификация полупроводниковых сверхрешеток. Композиционные и легированные сверхрешетки.

### **Раздел 3. Приближенные квантовомеханические методы расчета зонной структуры**

Функции Блоха, теорема Блоха и ее доказательство. Приближение сильной связи. Функции Ванье, их ортогональность. Приближение слабосвязанных электронов. Закон дисперсии. Вырождение на границах зон Бриллюэна.

### **Раздел 4. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр систем пониженной размерности**

Энергетический спектр бесконечной прямоугольной потенциальной ямы в однородном электрическом поле. Применение теории возмущений и поиск точных решений. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр параболической потенциальной ямы. Влияние электрического поля на спектр гармонического осциллятора. Преобразование координат и смещение спектра осциллятора. Потенциальная ступенька в однородном электрическом поле. Прохождение частиц через двухбарьерную структуру в электрическом поле.

### **Раздел 5. Распределение квантовых состояний в системах пониженной размерности**

Особенности распределения плотности состояний в 2D-системах. Приближение эффективной массы. Изоэнергетическая поверхность. Распределение плотности состояний в квантовых проволоках и квантовых точках. Распределение плотности состояний при наличии дельта-образного потенциала. Энергетический спектр мелких примесных состояний в системах пониженной размерности.

### **Раздел 6. Транспортные явления в наносистемах**

Неравновесная функция распределения. Основное кинетическое уравнение. Интеграл столкновений. Приближение времени релаксации. Разложения Зоммерфельда. Вычисление коэффициента электропроводности в приближении времени релаксации. Классический эффект Холла. ЭДС Холла. Электропроводность в полупроводниках с собственной проводимостью.

### **Раздел 7. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе**

Эксперименты Клитцинга, Дорды и Пеппера с двумерным электронным газом. Общая характеристика целочисленного квантового эффекта Холла. «Холловские плато». Энергетический спектр электронов в постоянном однородном магнитном поле. Уровни Ландау. Проводи-

мость двумерного электронного газа в магнитном поле. Дробный квантовый эффект Холла. Эксперименты и теоретические обоснования. Квазичастицы с дробным зарядом.

## **Раздел 8. Контактные и поверхностные явления**

Работа выхода электронов из металлов и полупроводников. Термоэлектронная эмиссия. Контактная разность потенциалов. Условия образования барьера Шоттки. Контакты металл-полупроводник. Физические процессы на поверхности полупроводников. Электрические заряды и энергетические состояния на поверхности полупроводника, явление инверсии проводимости, влияние состояния поверхности на электрические характеристики.

Календарный план, наименование разделов учебного модуля с указанием трудоемкости по видам учебной работы представлены в технологической карте (приложение Б).

### **4.3 Организация изучения учебного модуля**

Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля с учетом использования в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения учебных занятий даются в приложении А.

## **5 Контроль и оценка качества освоения учебного модуля**

Контроль качества освоения студентами УМ и его составляющих осуществляется непрерывно в течение всего периода обучения с использованием балльно-рейтинговой системы (БРС), являющейся обязательной к использованию всеми структурными подразделениями университета.

Для оценки качества освоения УМ используются формы контроля: текущий – регулярно в течение всего семестра и семестровый (экзамен) – по окончании изучения УМ.

Максимальное количество баллов, получаемое на экзамене – 50. Максимальное количество баллов по модулю – 300. Пороговому уровню соответствует 150 баллов.

Оценка качества освоения модуля осуществляется с использованием фонда оценочных средств, разработанного для данного модуля, по всем формам контроля в соответствии с Положением «Об организации учебного процесса по образовательным программам высшего образования» и Положением «О фонде оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации студентов и итоговой аттестации выпускников».

В качестве оценочных средств на протяжении семестра используются: разноуровневые задачи и экзамен. Содержание видов контроля и график отражены в технологической карте учебного модуля приложения Б. Паспорта компетенций представлены в приложении Г.

## **6 Учебно-методическое и информационное обеспечение**

Учебно-методическое и информационное обеспечение учебного модуля представлено Картой учебно-методического обеспечения (приложение В).

## **7 Материально-техническое обеспечение учебного модуля**

Для осуществления образовательного процесса по модулю используется лекционная аудитория, оборудованная мультимедийными средствами

### **Приложения (обязательные):**

А – Методические рекомендации по организации изучения УМ

Б – Технологическая карта

В – Паспорт компетенций

Г – Карта учебно-методического обеспечения УМ

## Приложение А

(обязательное)

### Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля «Физические основы нанoeлектроники»

Учебный модуль «Физические основы нанoeлектроники» состоит из взаимосвязанных разделов, по которым предусмотрены лекционные и практические занятия.

В таблице А.1 отражены разделы модуля, технологии и формы проведения занятий, задания по самостоятельной работе студента и ссылки на необходимую литературу.

#### А.1 Методические рекомендации по теоретической части учебного модуля

Теоретическая часть модуля направлена на формирование системы знаний об основных явлениях и процессах в наноразмерных системах и объектах пониженной размерности, а также о квантовомеханических и статистических методах их описания для нужд нанoeлектроники.

Основное содержание теоретической части излагается преподавателем на лекционных занятиях, а также усваивается студентом при знакомстве с дополнительной литературой, которая предназначена для более глубокого овладения знаниями основных дидактических единиц соответствующего раздела и указана в таблице А.1.

#### А.2 Методические рекомендации по практическим занятиям

Цель практических занятий – закрепление теоретического материала и выработка у студентов умения решать задачи по практическим аспектам УМ.

Практические занятия строятся следующим образом:

- 20% аудиторного времени отводится на объяснение решения типовой задачи у доски;
- 70% аудиторного времени – самостоятельное решение задач студентами;
- 10% аудиторного времени в конце текущего занятия – разбор типовых ошибок при решении задач.

Большинство задач содержится в фонде оценочных средств данного УМ (приложение А).

Конкретная форма проведения практических занятий указана в таблице А.1.

*Пример расчетной задачи.*

Найти спектр электрона в сдвоенной прямоугольной потенциальной яме, разделенной дельтаобразным потенциалом.

### **А.3 Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов**

Для подготовки к практическим занятиям и экзамену рекомендуется пользоваться основной и дополнительной учебно-методической литературой, представленной в таблице А.1 и в карте учебно-методического обеспечения.

Для самостоятельной подготовки к экзамену предлагаются контрольные вопросы по УМ.

#### **Вопросы к экзамену по учебному модулю**

##### ***«Физические основы нанoeлектроники»***

- 1 Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке.
- 2 Потенциальный барьер конечной ширины.
- 3 Частица в прямоугольной потенциальной яме.
- 4 Движение в сферически симметричной потенциальной яме.
- 5 Гармонический осциллятор.
- 6 Движение в дельта-образном потенциале.
- 7 Модель Кронига-Пенни.
- 8 Приближение сильной связи.
- 9 Приближение слабосвязанных электронов.
- 10 Теорема Блоха.
- 11 Энергетический спектр бесконечной прямоугольной потенциальной ямы в однородном электрическом поле.
- 12 Влияние электрического поля на спектр гармонического осциллятора.
- 13 Особенности распределения плотности состояний в 2D-системах.
- 14 Распределение плотности состояний в квантовых проволоках и квантовых точках.
- 15 Распределение плотности состояний при наличии дельта-образного потенциала.
- 16 Энергетический спектр мелких примесных состояний в системах пониженной размерности.
- 17 Кинетическое уравнение Больцмана.
- 18 Разложения Зоммерфельда.
- 19 Классический эффект Холла.
- 20 Энергетический спектр электронов в постоянном однородном магнитном поле.
- 21 Целочисленный квантовый эффект Холла.
- 22 Дробный квантовый эффект Холла.
- 23 Контактные явления.
- 24 Поверхностные явления в полупроводниках.
- 25 Поверхностная рекомбинация.

**Пример экзаменационного билета**

Министерство науки и образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»  
Институт электронных и информационных систем  
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ**  
**по учебному модулю**  
**«Физические основы наноэлектроники»**

1. Особенности распределения плотности состояний в 2D-системах.
2. Поверхностная рекомбинация.

3 Задача. Найти спектр электрона в двоянной прямоугольной потенциальной яме, разделенной дельтаобразным потенциалом.

Зав. кафедрой ФТТМ

Б.И. Селезнев

Таблица А.1 - Организация изучения учебного модуля «Физические основы наноэлектроники»

Раздел дисциплины	Технология и форма проведения занятий	Задания на СРС	Дополнительная литература и интернет-ресурсы
Раздел 1. Введение.	– информационные лекции	изучение лекций	1. А.С. Давыдов: Квантовая механика: учебное пособие для вузов. – 3-е изд., стер. –М.: ВНУ, 2011. 2. В.М. Галицкий. Задачи по квантовой механике (в 2 частях): Учебное пособие для вузов.- 3-е изд. - М.: Едиториал УРСС, 2001. <a href="http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html">http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html</a>
Раздел 2. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности.	– информационные лекции – решение задач с обсуждением результатов	– решать задачи (ауд. СРС) – изучение лекций	1. А.С. Давыдов: Квантовая механика: учебное пособие для вузов. – 3-е изд., стер. –М.: ВНУ, 2011. 2. В.М. Галицкий. Задачи по квантовой механике (в 2 частях): Учебное пособие для вузов.- 3-е изд. - М.: Едиториал УРСС, 2001. <a href="http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html">http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html</a>
Раздел 3. Приближенные квантовомеханические методы расчета зонной структуры.	– информационные лекции – решение задач с обсуждением результатов	– решать задачи (ауд. СРС) – изучение лекций	1. А.С. Давыдов: Квантовая механика: учебное пособие для вузов. – 3-е изд., стер. –М.: ВНУ, 2011. 2. В.М. Галицкий. Задачи по квантовой механике (в 2 частях): Учебное пособие для вузов.- 3-е изд. - М.: Едиториал УРСС, 2001. <a href="http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html">http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html</a>
Раздел 4. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр систем пониженной размерности.	– информационные лекции – решение задач с обсуждением результатов	– решать задачи (ауд. СРС) – изучение лекций	1. А.С. Давыдов: Квантовая механика: учебное пособие для вузов. – 3-е изд., стер. –М.: ВНУ, 2011. 2. В.М. Галицкий. Задачи по квантовой механике (в 2 частях): Учебное пособие для вузов.- 3-е изд. - М.: Едиториал УРСС, 2001. <a href="http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html">http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html</a>
Раздел 5. Распределение квантовых состояний в системах пониженной размерности.	– информационные лекции – решение задач с обсуждением результатов	– решать задачи (ауд. СРС) – изучение лекций	1. А.С. Давыдов: Квантовая механика: учебное пособие для вузов. – 3-е изд., стер. –М.: ВНУ, 2011. 2. В.М. Галицкий. Задачи по квантовой механике (в 2 частях): Учебное пособие для вузов.- 3-е изд. - М.: Едиториал УРСС, 2001. <a href="http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html">http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html</a>

Раздел дисциплины	Технология и форма проведения занятий	Задания на СРС	Дополнительная литература и интернет-ресурсы
Раздел 6. Транспортные явления в наностемах.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– информационные лекции</li> <li>– решение задач с обсуждением результатов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– решать задачи (ауд. СРС)</li> <li>– изучение лекций</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. А.С. Давыдов: Квантовая механика: учебное пособие для вузов. – 3-е изд., стер. –М.: ВНУ, 2011.</li> <li>2. В.М. Галицкий. Задачи по квантовой механике (в 2 частях): Учебное пособие для вузов.- 3-е изд. - М.: Едиториал УРСС, 2001. <a href="http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html">http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html</a></li> </ul>
Раздел 7. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– информационные лекции</li> <li>– решение задач с обсуждением результатов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– решать задачи (ауд. СРС)</li> <li>– изучение лекций</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. А.С. Давыдов: Квантовая механика: учебное пособие для вузов. – 3-е изд., стер. –М.: ВНУ, 2011.</li> <li>2. В.М. Галицкий. Задачи по квантовой механике (в 2 частях): Учебное пособие для вузов.- 3-е изд. - М.: Едиториал УРСС, 2001. <a href="http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html">http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html</a></li> </ul>
Раздел 8. Контактные и поверхностные явления.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– информационные лекции</li> <li>– решение задач с обсуждением результатов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– решать задачи (ауд. СРС)</li> <li>– изучение лекций</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. А.С. Давыдов: Квантовая механика: учебное пособие для вузов. – 3-е изд., стер. –М.: ВНУ, 2011.</li> <li>2. В.М. Галицкий. Задачи по квантовой механике (в 2 частях): Учебное пособие для вузов.- 3-е изд. - М.: Едиториал УРСС, 2001. <a href="http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html">http://www.ph4s.ru/book_ph_kv_mex_zad.html</a></li> </ul>

**Приложение Б**  
(обязательное)

**Технологическая карта**

**учебного модуля «Физические основы наноэлектроники»**

семестр – **7**, ЗЕ – **6**, вид аттестации – **экзамен**, акад. часов – **216**, баллов рейтинга – **300**

Номер и наименование раздела дисциплины, КП/КР	№ недели сем.	Трудоемкость, ак. час					СРС	Форма текущего контроля успеваемости (в соответствии с паспортом ФОС)	Максим. кол-во баллов рейтинга
		Аудиторные занятия							
		ЛЕК	ПЗ	ЛР	АСРС				
Раздел 1. Введение.	1	2				6			
Раздел 2. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности.	2-4	6	10		3	30	разноуровневые задачи	50	
Раздел 3. Приближенные квантовомеханические методы расчета зонной структуры.	5-7	6	10		3	30	разноуровневые задачи	50	
Раздел 4. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр систем пониженной размерности.	8-9	4	6		2	21	разноуровневые задачи	25	
Раздел 5. Распределение квантовых состояний в системах пониженной размерности.	10-11	4	6		3	21	разноуровневые задачи	25	
Раздел 6. Транспортные явления в наносистемах.	12-13	4	6		2	21	разноуровневые задачи	25	
Раздел 7. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе.	14-15	4	6		2	21	разноуровневые задачи	25	
Раздел 8. Контактные и поверхностные явления.	16-18	6	10		3	30	разноуровневые задачи	50	
Экзамен						36		50	
<b>Итого:</b>		<b>36</b>	<b>54</b>		<b>18</b>	<b>216</b>		<b>300</b>	

Критерии оценки качества освоения студентами учебного модуля:

- «удовлетворительно» – от 150 до 209 баллов;
- «хорошо» – от 210 до 269 баллов;
- «отлично» – от 270 до 300 баллов.

## Приложение В

**Паспорта компетенций**  
(обязательное)

ОПК-1 – Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики

Уровни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	хорошо	отлично
Базовый уровень	Знает основные физические явления, наблюдающиеся в наноразмерных системах и объектах пониженной размерности.	Испытывает трудности в понимании основных физических явлений, наблюдающихся в наноразмерных системах и объектах пониженной размерности.	Недостаточно четко понимает основные физические явления, наблюдающиеся в наноразмерных системах и объектах пониженной размерности.	Ясно понимает основные физические явления, наблюдающиеся в наноразмерных системах и объектах пониженной размерности.
	Умеет применять основные приближенные методы квантовой механики и статистической физики для решения конкретных задач нанoeлектроники.	Испытывает трудности при использовании основных приближенных методов квантовой механики и статистической физики для решения конкретных задач нанoeлектроники.	Не всегда корректно использует основные приближенные методы квантовой механики и статистической физики для решения конкретных задач нанoeлектроники.	Способен в полной мере использовать основные приближенные методы квантовой механики и статистической физики для решения конкретных задач нанoeлектроники.
	Владеет основными методами квантовой механики для расчета энергетического спектра систем пониженной размерности; основными методами кинетической теории для расчета процессов переноса в неравновесных наносистемах.	Испытывает трудности при использовании основных методов квантовой механики для расчета энергетического спектра систем пониженной размерности; основных методов кинетической теории для расчета процессов переноса в неравновесных наносистемах.	Недостаточно уверенно использует основными методами квантовой механики для расчета энергетического спектра систем пониженной размерности; основными методами кинетической теории для расчета процессов переноса в неравновесных наносистемах.	Владеет основными методами квантовой механики для расчета энергетического спектра систем пониженной размерности; основными методами кинетической теории для расчета процессов переноса в неравновесных наносистемах.

ОПК-2 – Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики

Уровни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	хорошо	отлично
Базовый уровень	Знает физическую сущность явлений и процессов, происходящих в наноразмерных системах и объектах пониженной размерности.	Испытывает трудности в понимании физической сущности явлений и процессов, происходящих в наноразмерных системах и объектах пониженной размерности.	Недостаточно четко понимает физическую сущность явлений и процессов, происходящих в наноразмерных системах и объектах пониженной размерности.	Ясно понимает физическую сущность явлений и процессов, происходящих в наноразмерных системах и объектах пониженной размерности.

ПК-1 – Способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования

Уровни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	хорошо	отлично
Базовый уровень	Умеет находить правильные и оптимальные способы описания конкретных наноразмерных систем в рамках квантовомеханического подхода или статистического подхода.	Испытывает трудности при нахождении правильных и оптимальных способов описания конкретных наноразмерных систем в рамках квантовомеханического подхода или статистического подхода.	Не всегда корректно находит правильные и оптимальные способы описания конкретных наноразмерных систем в рамках квантовомеханического подхода или статистического подхода.	Способен в полной мере находить правильные и оптимальные способы описания конкретных наноразмерных систем в рамках квантовомеханического подхода или статистического подхода.
	Владеет методикой физически интерпретировать результаты расчетов квантовомеханических и статистических характеристик наноразмерных систем.	Испытывает трудности при интерпретации результатов расчетов квантовомеханических и статистических характеристик наноразмерных систем.	Недостаточно уверенно владеет методикой интерпретировать результаты расчетов квантовомеханических и статистических характеристик наноразмерных систем.	Владеет в полной мере методикой интерпретировать результаты расчетов квантовомеханических и статистических характеристик наноразмерных систем.

## Приложение Г

(обязательное)

### Карта учебно-методического обеспечения

УМ «Физические основы наноэлектроники»

Направление (специальность) 11.03.04 – Электроника и наноэлектроника

Формы обучения очная

Курс 4 Семестр 7

Часов: всего 216, лекций 36, практ. зан. 54, лаб. раб. –, СРС 126

Обеспечивающая кафедра ФТТМ

Таблица Г.1 - Обеспечение дисциплины учебными изданиями

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Учебники и учебные пособия		
1 Драгунов В.П. Основы наноэлектроники : Учеб. пособие для вузов. / В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. – 2-е изд., испр. И доп. – Новосибирск : Издательство НГТУ, 2004. – 494 с.	26	
2 Рамбиди Н. Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н. Г. Рамбиди, А. В. Берёзкин. – М. : Физматлит, 2009. – 454 с.	3	
3 Наноэлектроника. Теория и практика : учеб. для вузов / авт.: В. Е. Борисенко [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. - 366 с. : ил.	7	
4 Гаврилов С.А. Электрохимические процессы в технологии микро- и наноэлектроники : Учеб. пособие для вузов. / С.А. Гаврилов. – М. : Высшее образование, 2009. – 257 с.	2	
5 Суздаев И.П. Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. / И.П. Суздаев. – М. : Ком-Книга, 2006. – 589 с.	1	
Учебно-методические издания		
1 Рабочая программа модуля с приложениями «Физические основы наноэлектроники» /Авт.-сост. М.А.Захаров; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – В.Новгород, 2017. – 17 с.		
2 Филиппов Д.А. Основы квантовой механики: учеб. пособие / НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2007. – 145, [1] с.	11	
3 Филиппов Д.А. Задачи по квантовой механике/ Д.А.Филиппов, М.А.Захаров/ НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2010. – 43 с. – Режим доступа: <a href="https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-551">https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-551</a> ; <a href="https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-365">https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-365</a>	11	есть
4 Захаров М.А. Динамика кристаллической решетки: гармоническое приближение и ангармонизмы / М.А. Захаров. -Учеб.-метод. пособие. НовГУ. – Великий Новгород, 2007. – 48 с.	10	

Таблица Г.2 – Информационное обеспечение учебного модуля

Название программного продукта, интернет-ресурса	Электронный адрес	Примечание

Таблица Г.3 – Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. Нов- ГУ	Наличие в ЭБС
1 Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики : учеб. пособие. - 7-е изд., стер. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2004. - 664с.	12	
2 Неволин В. К. Квантовая физика и нанотехнологии = Quantum Physics and Nanotechnology / В. К. Неволин ; пер. на англ. С. Озеринной. – М. : Техносфера, 2011. – 126, [2] с.	2	
3 Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы. - 3-е изд., стер. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007 (2001). - 256с.	3	
4. Суханов А.Д. Лекции по квантовой физике : учеб. пособие для вузов. - М. : Высшая школа, 2006. – 527 с.	2	
5. Ермаков А. И. Квантовая механика и квантовая химия : учеб. пособие : для вузов / А. И. Ермаков. - М.: Юрайт, 2010. - 555, [1] с.	5	

Действительно для учебного года \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Б.И. Селезнев

\_\_\_\_\_ 20 г.

СОГЛАСОВАНО

НБ НовГУ:

\_\_\_\_\_

должность

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_

расшифровка