

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
материаловедения и индустрии наносистем



(В.М. Иевлев )  
20.06.2018г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.02.01 Квантование в низкоразмерных системах**

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

*04.04.02 – Химия, физика и механика материалов*

2. Профиль подготовки/специализация: *Химия, физика и механика функциональных материалов*

3. Квалификация (степень) выпускника: *магистр*

4. Форма обучения: *очная*

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: *материаловедения и индустрии наносистем*

6. Составители программы: Даринский Борис Михайлович, доктор физико-математических наук профессор

7. **Рекомендована:** научно-методическим советом химического факультета, протокол № 5 от 24.05.2018

8. Учебный год: *2019/2020*

Семестр(ы): *3*

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью изучения дисциплины " Квантование в низкоразмерных системах" является освоение студентами основных понятий, специфики квантового движения электронов, ознакомление с достижениями и перспективами современной физики низкоразмерных электронных систем.

Основные задачи изучения дисциплины:

- формирование у студентов необходимых знаний понимания основных законов, определяющих физические свойства объектов нанометрового масштаба и структур с пониженной размерностью;
- ознакомление с основными достижениями и перспективами в области использования низкоразмерных систем.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: (блок Б1, базовая или вариативная часть, к которой относится дисциплина; требования к входным знаниям, умениям и навыкам; дисциплины, для которых данная дисциплина является предшествующей))

Блок Б1, вариативная часть.

Изучение данной дисциплины базируется на следующих курсах, изученных студентами ранее в бакалавриате: «Общая и неорганическая химия», «Структурная химия и кристаллохимия», «Квантовая механика», «Квантовая и статистическая физика», «Материаловедение», «Химическая физика твердого тела», «Физико-химия нанокластеров, наноструктур, наноматериалов», «Нанотехнологии», «Тонкие плёнки и гетероструктуры».

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОК-1	способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу	<p>Знать:</p> <p>квантовые критерии низкоразмерности, классификация низкоразмерных систем, физические закономерности, определяющие свойства и поведение низкоразмерных систем, квантовые модели эффектов в низкоразмерных системах.</p> <p>Уметь:</p> <p>анализировать закономерности, имеющих квантовую природу в различных низкоразмерных системах на основе полученных знаний.</p> <p>Владеть:</p> <p>Способностью к самостоятельному планированию низкоразмерных систем с заданными свойствами, построению моделей наблюдаемых закономерностей и интерпретации результатов.</p>
ОПК-2	владением знаниями в области современных теоретических концепций различных разделов материаловедения, включая методы синтеза веществ и материалов, анализа их структуры и свойств, фундаментальные навыки научно-	<p>знать:</p> <p>структурную и материаловедческую классификацию низкоразмерных систем, теоретические концепции, лежащие в основе понимания свойств и физических закономерностей, определяющих свойства и поведение низкоразмерных систем, квантовые модели эффектов в низкоразмерных системах.</p>

	исследовательской работы	<p>уметь: классифицировать конкретные низкоразмерные системы, предсказывать их свойства и интегральные устройства, в которых они могут быть использованы.</p> <p>Владеть: способностью проводить самостоятельные исследования имеющихся низкоразмерных систем, формулировать квантовые модели наблюдаемых эффектов, принимать решения о целесообразности разработки новых низкоразмерных устройств в технике</p>
<b>ПК-2</b>	Способность выработки новых теоретических подходов и принципов дизайна материалов и наноматериалов с заданными свойствами, решение фундаментальных задач в области современного фундаментального материаловедения и нанотехнологий	<p>знать: существующие теоретические подходы и принципы дизайна низкоразмерных систем,</p> <p>Уметь: Самостоятельно анализировать и устанавливать место новых низкоразмерных систем в существующей материаловедческой системе или обоснованно расширять материаловедческую базу.</p> <p>Владеть: Способностью выработки новых теоретических подходов и принципов дизайна материалов и наноматериалов с заданными свойствами.</p>
<b>ПК-3</b>	способностью к разработке новых, оригинальных и высокоэффективных, технологий получения современных материалов, биоматериалов и наноматериалов	<p>знать: современные методы и технологические подходы к получению низкоразмерных систем,</p> <p>Уметь: выбирать способы и технологии получения современных материалов, биоматериалов и наноматериалов</p> <p>Владеть: Навыками разработки новых технологических подходов к созданию материалов и наноматериалов с заданными свойствами.</p>

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 4/144.

### Форма промежуточной аттестации – зачет с оценкой.

#### 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		1	3	...
Аудиторные занятия	50		50	
в том числе: лекции	34		34	
практические	16		16	
лабораторные	–			
Самостоятельная работа	58		58	
Форма промежуточной аттестации	36		36	

(экзамен)				
Итого:	144		144	

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Определение и классификация систем пониженной размерности	Двумерные квантовые системы, квантовые нити, квантовые точки, периодические структуры, сверхрешетки, тонкие пленки, МДП-структуры, гетероструктуры, дельталегированные-слои, поверхностные структуры
1.2	Квантование в низкоразмерных системах	Двумерные квантовые системы, квантовые нити, квантовые точки, периодические структуры. Энергетический спектр, плотность состояний. Примесные состояния.
1.3	Кинетика электронов в низкоразмерных системах	Время релаксации. Рассеяние электронов на примесных атомах и флуктуациях концентрации, фононах, границах неоднородностей. Баллистический транспорт. Туннелирование. Вольтамперная характеристика
1.4	Динамика и кинетика электронов в стационарном электро-магнитном поле.	Энергетический спектр, уровни Ландау, плотность состояний. Целочисленный и дробный эффект Холла.
1.5	Электрические свойства квантовых нитей и точек.	Баллистическая проводимость квантовых нитей. Низкоразмерные системы с кулоновской блокадой. Применение низкоразмерных систем в технических устройствах.
1.6	Сверхрешетки. Классификация сверхрешеток	Энергетический спектр сверхрешеток. Метод сильной связи. Энергетический спектр сверхрешеток. Модель Кронига-Пенни
1.7	Квантовая яма на основе двойной гетероструктуры.	Размерное квантование электронов и дырок в модели Кейна.
<b>2. Практические занятия</b>		
2.1	Определение и классификация систем пониженной размерности	Квантование в нульмерных системах Энергетический спектр
2.2	Квантование в низкоразмерных системах	Квантование в одномерных системах Энергетический спектр. Энергетическая плотность. Квантование в двумерных системах Энергетический спектр. Энергетическая плотность
2.3	Сверхрешетки. Классификация сверхрешеток	Квантование в сверхрешетках Энергетический спектр. Энергетическая плотность
2.4	Электрические свойства квантовых нитей и точек.	Туннельный эффект
2.5	Кинетика электронов в низкоразмерных системах	Двумерные системы, одномерные системы.

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Определение и классификация систем пониженной размерности	4	2		8	16
2	Квантование в низкоразмерных системах	8	6		14	28
3	Кинетика электронов в низкоразмерных системах	4	2		12	22
4	Динамика и кинетика электронов в стационарном	4	0		8	28

	электро-магнитном поле.					
5	Электрические свойства квантовых нитей и точек.	6	4		8	16
6	Сверхрешетки. Классификация сверхрешеток	4	2		4	10
7	Квантовая яма на основе двойной гетероструктуры.	4	0		4	8
	Итого:	34	16		58	144

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

Данный курс основан на сочетании лекционных и практических занятий. Достаточно большое внимание уделено самостоятельной работе студентов, в рамках которой необходимо уделять внимание более углубленному изучению отдельных разделов дисциплины, работе с литературными источниками, статьями в ведущих научных журналах и специализированных изданиях, поиску информации.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Погосов В.В. Введение в физику зарядовых и размерных эффектов. Поверхность, кластеры, низкоразмерные системы / В.В. Погосов. – М. : Физматлит, 2006. – 328 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Физика низкоразмерных систем : Учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению "Техн. физика" / А. Я. Шик, Л. Г. Бакуев, С. Ф. Мусихин, С. А. Рыков; Под общ.ред. В.И.Ильина, А. Я. Шика. – СПб. : Наука, 2001. – 154 с.
3	Андо Т. Электронные свойства двумерных систем : Пер. с англ / Т. Андо, А. Фаулер, Ф. Стерн. – М. : Мир, 1985. – 415 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
1.	<a href="https://www.lib.vsu.ru/">https://www.lib.vsu.ru/</a> - сайт Зональной Научной Библиотеки Воронежского государственного университета
2.	<a href="http://www.nanometer.ru/">http://www.nanometer.ru/</a> - Нанотехнологическое сообщество «Нанометр»
3.	<a href="http://www.chem.msu.ru/rus/">http://www.chem.msu.ru/rus/</a> - Chemnet - официальное электронное издание Химического факультета МГУ в Internet,
4.	<a href="http://www.e-library.ru">www.e-library.ru</a> - информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования, содержащий рефераты и полные тексты более 12 млн научных статей и публикаций.
5.	<a href="http://iric.imet-db.ru/">http://iric.imet-db.ru/</a> - База данных IRIC (Information Resources of Inorganic Chemistry) содержит краткую информацию об информационных системах в области неорганической химии и материаловедения.

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

#### 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник

**17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)**

---

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

*(при использовании лабораторного оборудования указывать полный перечень, при большом количестве оборудования можно вынести данный раздел в приложение к рабочей программе)*

---

Мультимедийный проектор, ноутбук, экран

**19. Фонд оценочных средств:**

**19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения**

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ОК-1 способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу	Знать: квантовые критерии низкоразмерности, классификация низкоразмерных систем, физические закономерности, определяющие свойства и поведение низкоразмерных систем, квантовые модели эффектов в низкоразмерных системах. Уметь: анализировать закономерности, имеющих квантовую природу в различных низкоразмерных системах на основе полученных знаний. Владеть: Способностью к самостоятельному планированию низкоразмерных систем с заданными свойствами, построению моделей наблюдаемых закономерностей и интерпретации результатов.	Определение и классификация систем пониженной размерности	

ОПК-2 владением знаниями в области современных теоретических концепций различных разделов материаловедения, включая методы синтеза веществ и материалов, анализа их структуры и свойств, фундаментальные навыки научно-исследовательской работы	<p>знать: структурная и материаловедческая классификация низкоразмерных систем, теоретические концепции, лежащие в основе понимания свойств и физических закономерностей, определяющих свойства и поведение низкоразмерных систем, квантовые модели эффектов в низкоразмерных системах.</p> <p>уметь: классифицировать конкретные низкоразмерные системы, предсказывать их свойства и интегральные устройства, в которых они могут быть использованы.</p> <p>Владеть: способностью поводить самостоятельные исследования имеющихся низкоразмерных систем, формулировать квантовые модели наблюдаемых эффектов, принимать решения о целесообразности разработки новых низкоразмерных устройств в технике</p>	Квантование в низкоразмерных системах Кинетика электронов в низкоразмерных системах Динамика и кинетика электронов в стационарном электромагнитном поле Электрические свойства квантовых нитей и точек	Устный опрос
	<p>знать: существующие теоретические подходы и принципы дизайна низкоразмерных систем,</p> <p>Уметь: Самостоятельно анализировать и устанавливать место новых низкоразмерных систем в существующей материаловедческой системе или обоснованно расширять материаловедческую базу.</p> <p>Владеть: Способностью выработки новых теоретических подходов и принципов дизайна материалов и наноматериалов с заданными свойствами.</p>		Устный опрос
ПК-2 Способность выработки новых теоретических подходов и принципов дизайна материалов и наноматериалов с заданными свойствами, решение фундаментальных задач в области современного фундаментального материаловедения и нанотехнологий	<p>знать: структурная и материаловедческая классификация низкоразмерных систем, теоретические концепции, лежащие в основе понимания свойств и физических закономерностей, определяющих свойства и поведение низкоразмерных систем, квантовые модели эффектов в низкоразмерных системах</p>	Сверхрешетки. Классификация сверхрешеток Квантование в низкоразмерных системах Квантовая яма на основе двойной гетероструктуры	Устный опрос
	<p>уметь: классифицировать конкретные низкоразмерные системы, предсказывать их свойства и интегральные устройства, в которых они могут быть использованы.</p>	Сверхрешетки. Классификация сверхрешеток Квантование в низкоразмерных системах Квантовая яма на основе двойной гетероструктуры	Устный опрос

	.Владеть: способностью поводить самостоятельные исследования имеющих низкоразмерных систем, формулировать квантовые модели наблюдаемых эффектов, принимать решения о целесообразности разработки новых низкоразмерных устройств в технике	Сверхрешетки. Классификация сверхрешеток Квантование в низкоразмерных системах Квантовая яма на основе двойной гетероструктуры	Устный опрос
ПК-3 способностью к разработке новых, оригинальных и высокоэффективных, технологий получения современных материалов, биоматериалов и наноматериалов	знать: современные методы и технологические подходы к получению низкоразмерных систем, Уметь: выбирать способы и технологии получения современных материалов, биоматериалов и наноматериалов Владеть: Навыками разработки новых технологических подходов к созданию материалов и наноматериалов с заданными свойствами.	Сверхрешетки. Классификация сверхрешеток Квантование в низкоразмерных системах Квантовая яма на основе двойной гетероструктуры	Устный опрос

\* В графе «ФОС» в обязательном порядке перечисляются оценочные средства текущей и промежуточной аттестаций.

## 19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

### Пример:

Для оценивания результатов обучения на экзамене/зачете используются следующие показатели (ЗУНы из 19.1):

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом современной теории квантовых низкоразмерных систем;
- 2) знание современных представлений о квантовых моделях явлений в низкоразмерных системах;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 4) умение использовать полученные знания для прогнозирования свойств низкоразмерных систем;
- 5) владение навыками научно обоснованного теоретического исследования с целью интерпретации и предсказания свойств синтезируемых низкоразмерных материалов.

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области современной науки о низкоразмерных системах</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен знания для решения практических задач в области квантовой теории низкоразмерных систем, допускает отдельные ошибки при</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>



<i>рассмотрении отдельных при описании современных представлений о специфике низкоразмерных систем.</i>		
<i>Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен описать основные теории и современные представления о низкоразмерных системах, допускает грубые ошибки при ответе.</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки</i>	–	<i>Неудовлетворительно</i>

### **19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

#### **19.3.1 Перечень вопросов к экзамену:**

1. Квантование на примере тонких пленок полупроводников и полуметаллов.  
Условия проявления размерного квантования
2. Классификация и основные параметры гетеропереходов.
3. Квантовая яма на основе двойной гетероструктуры. Описание электронных состояний методом огибающей Приближение эффективной массы
4. Квантовая яма на основе двойной гетероструктуры. Размерное квантование дырок.
5. Квантовая яма на основе двойной гетероструктуры. Размерное квантование электронов и дырок в модели Кейна.
6. Размерное квантование в сверхрешетках .
7. Размерное квантование в гетероструктурах типа GeSi
8. Энергетический спектр плотности электронных состояний и статистика носителей заряда в квантовых ямах, проволоках и точках
9. Экситоны и мелкие примесные состояния в размерно-квантованных гетероструктурах
10. Модулированное легирование. Подавление примесного рассеяния за счет пространственно неоднородного легирования. Транзистор с высокой подвижностью электронов.
11. Универсальные флуктуации кондактанса. Температурное и полевое тушение квантовой лестницы проводимости.
12. Резонансное туннелирование. Резонансно-туннельный диод
13. Дельта-легированный слой.
14. Структуры со сдвоенной потенциальной ямой
15. Сверхрешетки. Классификация сверхрешеток
16. Энергетический спектр сверхрешеток. Метод сильной связи
17. Эффект магнитосопротивления в системе квантовых точек.
18. Поляроны в низкоразмерных системах
19. Специфика фазовых переходов в низкоразмерных системах
20. Кондактанс баллистического проводника. Формула Ландауэра

## 21. Одноэлектронная проводимость в системе квантовых точек

### **19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в формах: устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная беседа, рефераты); письменных работ (контрольные). Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

При оценивании используются количественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.