

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Амурский государственный университет»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и научной работе

А.В. Лейфа

« 29 » мая 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
Нanomатериалы и нанотехнологии
(наименование учебной дисциплины/модуля)

Направление подготовки 03.03.02 – «Физика»
Квалификация выпускника: бакалавр
Программа подготовки: академический бакалавриат

Год набора: 2020 г.
Форма обучения: очная
Курс IV Семестр 7

Зачет 7 0,2 (акад. час.)
(семестр)

Лекции 16 (акад. час.)
Практические занятия 18 (акад. час.)
Самостоятельная работа 37,8 (акад. час.)
Общая трудоемкость дисциплины 72 (акад. час.) 2 (з.е.)

Составитель Е.В. Стукова, доцент, доктор физ.-мат. наук.
(И.О.Ф., должность, ученое звание)

Факультет инженерно-физический
Кафедра физики

Благовещенск 2020 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью и задачами освоения дисциплины «Наноматериалы и нанотехнологии» является систематическое изложение способов и методов применения основных принципов физического материаловедения и квантовой теории к исследованию свойств наноструктур.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО:

Дисциплина «Наноматериалы и нанотехнологии» входит в вариативную часть дисциплины по выбору.

Для освоения дисциплины необходимо знать:

- 1) курс общей физики;
- 2) дисциплины модуля «Теоретическая физики».

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций: готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований (ПК-3);

способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин (ПК-4).

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать основные свойства наносистем, обусловленные квантовым характером взаимодействий;

уметь работать с объектами, которые характерны для рассматриваемых систем, включая гетероструктуры, сверхрешетки, квантовые проволоки, квантовые точки, кластеры, нанотрубки, фуллерены;

владеть методами расчета квантовых размерных параметров, многоэлектронных эффектов в наноструктурах, характеристик оптических явлений, явлений переноса.

Указанные навыки должны служить базой для понимания физических основ явлений, происходящих на наноразмерном уровне, а также принципов функционирования приборов и устройств на основе наноструктур.

4. СТРУКТУРА КОМПЕТЕНЦИЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы дисциплины	Компетенции	
	ПК-3	ПК-4
Общая характеристика наносистем. Размерные эффекты	+	-
Молекулярно-лучевая эпитаксия гетероструктуры	+	+
Сверхрешетки. Квантовые нити. Квантовые точки	+	+
Фуллерены. Нанотрубки	+	+
Графен. Получение. Свойства	+	+
Металлические кластеры	+	+
Молекулярные металлокластеры	+	+
Молекулярные моторы	+	+

5. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды контактной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в акад. часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические раб.	СР	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Общая характеристика наносистем. Размерные эффекты	7	1	2	4	4,8	Проверка в ходе практических работ
2	Молекулярно-лучевая эпитаксия гетероструктуры	7	3	2	2	4,8	Проверка в ходе практических работ
3	Сверхрешетки. Квантовые нити. Квантовые точки	7	5	2	2	4,8	Проверка в ходе практических работ
4	Фуллерены. Нанотрубки	7	7	2	2	4,8	Проверка в ходе практических работ
5	Графен. Получение. Свойства	7	9	2	2	4,7	Проверка в ходе практических работ
6	Металлические кластеры	7	11	2	2	4,7	Проверка в ходе практических работ
7	Молекулярные металлоструктуры	7	13	2	2	4,6	Проверка в ходе практических работ
8	Молекулярные моторы	7	15	2	2	4,6	Проверка в ходе практических работ
Итого				16	18	37,8	Зачет 0,2 акад. часа

6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Лекционный курс

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)
1	Общая характеристика наносистем. Размерные эффекты	Определение наносистем. Наноразмерные частицы: металлические, молекулярные кластеры, фуллерены, нанотрубки. Наноструктуры в объеме материала. Физические размерные эффекты. Квантовые размерные эффекты.
2	Молекулярно-лучевая эпитаксия гетероструктуры	Основы молекулярно-лучевой эпитаксии. Возможности молекулярно-лучевой эпитаксии. Структуры гетерограниц. Энергетические диаграммы.
3	Сверхрешетки. Квантовые нити. Квантовые точки	Типы сверхрешеток. Композиционные сверхрешетки. Квантование и минизоны. Технологии получения квантовых нитей и точек. Энергетические диаграммы. Экситоны в низкоразмерных структурах.

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)
4	Фуллерены. Нанотрубки	Технологии получения фуллеренов и нанотрубок. Фуллериты и их свойства. Хиральность нанотрубок. Физико-химические свойства фуллеренов и нанотрубок.
5	Графен. Получение. Свойства	Технологии получения графена. Механические свойства. Поведение двумерного электронного газа. Квантовый эффект Холла.
6	Металлические кластеры	Однокомпонентные и многокомпонентные металлокластеры. Кластеры с магическими числами. Коллективные эффекты в кластерах. Гигантские резонансы в спектрах поглощения.
7	Молекулярные металлокластеры	Определение молекулярного металлокластера. Структура молекулярных нанокластеров, примеры. Магические числа для молекулярных металлокластеров. Молекулярные кластеры в кристаллах.
8	Молекулярные моторы	Адензинтрифосфат (АТФ-синтаза) как молекулярная машина. Механизм обеспечивающий вращение ротора. Экспериментальные доказательства вращения мотора. Электромоторы бактерий.

6.2. Темы практических занятий

1. Методы оценки поверхностной энергии наносистем. применение правил квантования к наносистемам различных размерностей и форм.
2. Методы вычисления разрыва энергетических зон в гетероструктурах. Моделирование потенциалов на границах гетероструктур.
3. Определение симметрии сверхрешеток различных типов. Моделирование энергетических спектров СР, КН, КТ.
4. Обсуждение рефератов по углеродным наноматериалам и по разделам 1-3.
5. Моделирование свойств двумерного электронного газа в электрическом и магнитном полях.
6. Оболочечная электронная структура кластеров щелочных и редкоземельных металлов. Моделирование структур оболочек.
7. Моделирование электронных спектров металлокластеров и кластеров в кристаллах.
8. Моделирование протонного переноса в биологических системах.

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа – 37,8 акад. час. По данному курсу в рамках самостоятельной работы студента предполагается подготовка к устной защите практических работ, текущая подготовка по темам лекционных занятий.

№п/п	№ раздела дисциплины	Форма (вид самостоятельной работы)	Трудоемкость (в акад. часах)
1	Общая характеристика наносистем. Размерные эффекты	Проверка в ходе практических работ (устный опрос). Проверка конспекта на тему из списка вопросов для самостоятельного изучения	4,8
2	Молекулярно-лучевая эпитаксия гетероструктуры	Подготовка к практическим (выполнение домашнего задания, написание реферата) и лабораторным работам (подготовка к допуску и отчету)	4,8

№п/п	№ раздела дисциплины	Форма (вид самостоятельной работы)	Трудоемкость (в акад. часах)
3	Сверхрешетки. Квантовые нити. Квантовые точки	Подготовка к практическим работам (выполнение домашнего задания)	4,8
4	Фуллерены. Нанотрубки	Проверка в ходе практических работ (устный опрос). Проверка конспекта на тему из списка вопросов для самостоятельного изучения	4,8
5	Графен. Получение. Свойства	Проверка в ходе практических работ (устный опрос). Проверка конспекта на тему из списка вопросов для самостоятельного изучения	4,7
6	Металлические кластеры	Проверка в ходе практических работ (устный опрос). Проверка конспекта на тему из списка вопросов для самостоятельного изучения	4,7
7	Молекулярные металлокластеры	Подготовка к практическим работам (выполнение домашнего задания)	4,6
8	Молекулярные моторы	Подготовка к практическим работам (выполнение домашнего задания)	4,6
Итого			37,8

Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Стукова Е.В. Сборник учебно-методических материалов по дисциплине «Основы физики наноструктур» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/10853.pdf

Вопросы изучаемые самостоятельно.

1. Свойства двумерного электронного газа.
2. Баллистический перенос в квантовых нитях.
3. Электронные свойства металлических кластеров.
4. Квантовый эффект Холла.
5. Химическая связь в молекулярных металлокластерах.
6. Фуллерены, их физические, физико-химические свойства.
7. Нанотрубки, их физические, физико-химические свойства.
8. Физические и физико-химические свойства графена.
9. Нанотрубки как контейнеры для хранения водорода.
10. Полупроводниковая наноэлектроника
11. Наноструктуры в кристаллах.
12. Биологические нанодвигатели.
13. Протонный перенос и его роль в биологии.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 – «Физика» реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

При преподавании дисциплины «Нanomатериалы и нанотехнологии» используются как традиционные (лекция, лекция - беседа, проблемная лекция, лекция-семинар), так и инновационные технологии (применение мультимедийного проектора, семинар-дискуссия, использование ресурсов сети Internet и электронных учебников).

Лекционные занятия проводятся с использованием традиционной, активной и интерактивной форм обучения. Практические занятия проводятся с использованием активных и интерактивных форм обучения.

9. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания, типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций, а также методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков отражены в фонде оценочных средств по дисциплине «Наноматериалы и нанотехнологии».

9.1. Вопросы к зачету

1. Общее определение наноструктуры.
2. Физические размерные эффекты в наносистемах.
3. Квантовые размерные эффекты в наносистемах.
4. Принципы молекулярно-лучевой эпитаксии.
5. Энергетических диаграммы на границах гетеропереходов.
6. Что такое напряженная и ненапряженная сверхрешетка?
7. Минизоны в сверхрешетках.
8. Свойства двумерного электронного газа.
9. Квантовый эффект Холла.
10. Баллистический перенос в квантовых нитях.
11. Принцип действия лазера на квантовых точках.
12. Принцип действия туннельного диода.
13. Геометрические свойства фуллеренов.
14. Зависимость физических параметров нанотрубок от их хиральности.
15. Двумерный электронный газ в графене и квантовый эффект Холла.
16. Оболочечная модель металлического кластера.
17. Модель желе кластера.
18. Многоэлектронный эффекты в металлических кластерах.
19. Экситоны в низкоразмерных структурах.
20. Химическая связь в молекулярных металлокластерах.
21. Механизмы прохождения протонного тока в биологических системах.
22. Экспериментальные исследования физических свойств молекулярного мотора АТР-синтаза.
23. Принципы функционирования биологических мембран.

9.2. Вопросы и задания для промежуточного контроля

1. Дать определение и привести пример наносистем.
2. Какие структурные эффекты проявляются в кластерах?
3. Размерное квантование в наносистемах.
4. Как меняется температура плавления в нанокластерах по сравнению с объемными материалами?
5. Опишите принципы действия установки по молекулярно-лучевой эпитаксии.
6. Какие типы гетерограниц вы знаете?
7. Что такое разрыв энергетических зон?
8. Приведите примеры энергетических диаграмм гетероструктур.
9. Что такое напряженная и ненапряженная сверхрешетка?

10. Опишите симметрию монослойной сверхрешетки $(A_1^3 B_1^5)_1 (A_2^3 B_2^5)_1$.
11. Что такое минизоны?
12. Представьте рисунком плотности состояний 0-, 1-, 2-, 3-мерного электронного газа.
13. Что такое баллистический перенос в нановолокнах?
14. Опишите технологии получения фуллеренов и нанотрубок.
15. Геометрическое описание фуллеренов. Формула Эйлера.
16. Геометрическое описание нанотрубок. Хиральность.
17. Что такое фуллериты? Приведите примеры.
18. Опишите технологии получения графена.
19. Особенности квантового эффекта Холла в графене.
20. Опишите оболочечную модель металлического кластера.
21. Что такое кластеры с магическими числами?
22. Модель желе кластера.
23. Представьте график полной энергии металлического кластера в зависимости от числа атомов в кластере.
24. Механизм возникновения гигантских резонансов в спектре поглощения кластера.
25. Опишите расщепление гигантского резонанса.
26. Как происходит распад кластеров под действием внешних возмущений.
27. Механизмы перезарядки и ионизации кластеров.
28. Дайте определение молекулярных металлокластеров.
29. Опишите структур карбониальных металлокластеров.
30. За счет чего возникают магические числа в молекулярных металлокластерах?
31. Опишите каталитическое действие молекулярных металлокластеров.
32. Опишите конструкцию АТР-синтаза как молекулярного мотора.
33. Как протекает протонный ток в АТР-синтазе?
34. Как было доказано экспериментально, что ротор в АТР-синтазе вращается?
35. Опишите молекулярные моторы бактерий и приведите их технические характеристики.
36. Принцип действия туннельного диода.
37. Механизм действия лазера на гетероструктурах.
38. Приведите примеры применения наноструктур в технике.

9.3. Критерии оценки

Текущий контроль за аудиторной и самостоятельной работой обучаемых осуществляется во время проведения аудиторных занятий посредством устного опроса, проведения контрольных работ или осуществления лекции в форме диалога.

Промежуточный контроль осуществляется два раза в семестр в виде проверочной работы.

Зачет – итоговый контроль осуществляется после успешного прохождения студентами текущего и промежуточного контроля в виде устного или письменного зачета при ответах на два вопроса в билете и дополнительные вопросы по желанию преподавателя.

Зачтено – изложение полученных знаний в устной, письменной или графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются единичные несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами; допускаются отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них; допускаются отдельные существенные ошибки, исправление с помощью преподавателя.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) основная литература

1. Введение в нанотехнологию [Электронный ресурс] : учебник / В.И. Марголин [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 464 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/4310>. — Загл. с экрана.

2. Верещагина Я.А. Инновационные технологии. Введение в нанотехнологии [Электронный ресурс] : учебное пособие / Я.А. Верещагина. — Электрон. текстовые данные. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2009. — 115 с. — 978-5-7882-0778-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/61850.html>

б) дополнительная литература:

1. Филимонова Н.И. Методы электронной микроскопии [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.И. Филимонова, А.А. Величко, Н.Е. Фадеева. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. — 61 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69545.html>

2. Величко, А. А. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур. Часть II [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. А. Величко, Н. И. Филимонова. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2014. — 227 с. — 978-5-7782-2534-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45105.html>

3. Шашурин, В.Д. Нанотехнология и микромеханика. Ч. 5: Надежность наноприборов и радиоэлектронных устройств на их основе [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Д. Шашурин, Н.А. Ветрова. — Электрон. дан. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — 84 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/58523>.

4. Вейко, В. П. Лазерные микро- и нанотехнологии в микроэлектронике [Электронный ресурс] : опорный конспект лекций / В. П. Вейко. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2011. — 141 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67419.html>

5. Неволин, В. К. Квантовая физика и нанотехнологии [Электронный ресурс] / В. К. Неволин. — Электрон. текстовые данные. — М. : Техносфера, 2013. — 128 с. — 978-5-94836-361-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16975.html>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	Операционная система MS Windows 10 Education, Pro	Dream Spark Premium Electronic Software Delivery (3 years) Renewal по договору – Сублицензионный договор № Tr000074357/КНВ 17 от 01 марта 2016 года
2	Google Chrome	Бесплатное распространение по лицензии google chromium http://code.google.com/intl/ru/chromium/terms.html На условиях https://www.google.com/chrome/browser/privacy/eula_text.html

г) профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

№	Адрес	Название, краткая характеристика
1.	http://window.edu.ru	Единое окно доступа к образовательным ресурсам
2.	https://scholar.google.ru/	Google Scholar —поисковая система по полным текстам научных публикаций всех форматов и дисциплин.
3.	https://elibrary.ru/	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - российский информационно-аналитический портал в области науки, технологии, медицины и образования
4.	http://grotrian.nsu.ru/ru/	Электронная структура атомов Российская информационно-справочная система по спектральным данным атомов и ионов с одной из самых полных баз спектральных данных среди мировых систем.
5.	http://www.mavicanet.ru/	MavicaNET - Многоязычный Поисковый Каталог. Теоретическая физика. Институты, лаборатории и др. организации, занимающиеся исследованиями в области теоретической физики. Может содержать все существующие подкатегории раздела физика, если источник связан с теоретическими исследованиями.
6.	http://dxdy.ru/fizika-f2.html	Научный форум. Физика, Математика, Химия, Механика и Техника. Обсуждение теоретических вопросов, входящих в стандартные учебные курсы. Дискуссионные темы физики: попытки опровержения классических теорий и т.п. Обсуждение нетривиальных и нестандартных учебных задач. Полезные ресурсы сети, содержащие материалы по физике

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Рекомендации при подготовке и изучению лекционного материала.

В процессе изучения лекционного материала рекомендуется использовать опорные конспекты, учебники и учебные пособия.

Умение слушать, творчески воспринимать излагаемый материал – это необходимое условие для его понимания. В процессе лекционного занятия необходимо выделять важные моменты, выводы, анализировать основные положения. Если при изложении материала преподавателем создана проблемная ситуация, пытаться предугадать дальнейший ход рассуждений. Это способствует лучшему усвоению материала лекции и облегчает запоминание отдельных выводов.

Из сказанного следует, что для более прочного усвоения знаний лекцию необходимо конспектировать. Конспект лекций должен быть в отдельной тетради. Не надо стремиться подробно слово в слово записывать всю лекцию. Конспектируйте только самое важное в рассматриваемом параграфе. Старайтесь отфильтровывать и сжимать подаваемый материал. По возможности записи ведите своими словами, своими формулировками. Лекция не должна превращаться в урок-диктант.

Тетрадь для конспекта лекций также требует особого внимания. Ее нужно сделать удобной, практичной и полезной, ведь именно она является основным информативным источником при подготовке к различным отчетным занятиям, зачетам, экзаменам. Целесообразно отделить поля, где можно бы изложить свои мысли, вопросы, появившиеся в ходе лекции. Полезно одну из страниц оставлять свободной. Она потребуется потом, при са-

мостоятельной подготовке. Сюда можно будет занести дополнительную информацию по данной теме, полученную из других источников.

Таким образом, на лекции студент должен совместить два момента: внимательно слушать лектора, прикладывая максимум усилий для понимания излагаемого материала и одновременно вести его осмысленную запись. После прослушивания лекции необходимо проработать и осмыслить полученный материал. Перед каждой последующей лекцией рекомендуется просмотреть материал по предыдущей лекции.

Рекомендации по подготовке к практическим занятиям

Для более глубокого усвоения материала полезно решать задачи. Умение решать задачи потребуется и на экзамене. Большинство вузов в билеты устного экзамена, помимо теоретических вопросов, включает одну или несколько задач, и во время экзамена вам, кроме дополнительных теоретических вопросов, может быть предложена задача. Экзаменаторы справедливо считают, что одним из критериев усвоения теории является способность решать задачи.

1. Для подготовки к практическим занятиям используйте конспекты лекций, учебники и учебные пособия, указанные в списке рекомендуемой основной и дополнительной литературы.

2. Просмотрите те вопросы теории, освещающие разбираемую тему.

3. На практических занятиях целесообразно иметь при себе конспекты лекций, учебники и учебные пособия.

4. При выполнении домашних задач внимательно просмотрите решение аналогичных задач, рассматриваемых на учебных занятиях, осмыслите методы и методические приемы, используемые при их решении.

12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Занятия по дисциплине проводятся в специальных помещениях, представляющих собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. Все помещения, в которых проводятся занятия, соответствуют действующим противопожарным правилам и нормам.

Каждый обучающийся обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно-библиотечным системам и к электронной информационно-образовательной среде университета.

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется в помещениях, оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.