

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Н. Здрок

«30» января 2020 г.

Регистрационный № УД-8359 /уч.



ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ НАНОСТРУКТУР

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий

Минск 2020

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 07-2013 и учебных планов №G31-218/уч. от 20.02.2018, №G31и-219/уч. от 20.02.2018

СОСТАВИТЕЛЬ:

Н.И. Горбачук — доцент кафедры физики полупроводников и наноэлектроники Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Д.Б. Мигас, профессор кафедры микро- и наноэлектроники Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», доктор физико-математических наук, профессор

О.Г. Романов, заведующий кафедрой компьютерного моделирования Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники (протокол № 7 от 16.03.2020 г.);

Научно-методическим Советом БГУ³
(протокол № 5 от 17.06.2020)

Заведующий кафедрой

 ОДЖИЧЕВ В.Б.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины "Введение в физику наноструктур" разработана для специальности 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины — ознакомление студентов с основами физики наноструктур и современным состоянием физики и технологии наноматериалов.

Задачи учебной дисциплины:

1. Формирование базовых представлений об особенностях физических свойств низкоразмерных систем и причинах их определяющих, об основных направлениях развития нанотехнологий, сферах использования наноматериалов.
2. Развитие знаний и умений в области физики наноматериалов.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Физика наноматериалов и нанотехнологий, являясь интенсивно развивающимся направлением современного естествознания, предъявляет повышенные требования к фундаментальной подготовке специалистов. При этом одной из важнейших задач является формирование у студентов аналитического типа мышления и привитие навыков самостоятельной исследовательской работы. Соответственно, курс призван с одной стороны максимально широко отразить особенности физики наноструктур, с другой — выявить общие закономерности, лежащие в основе процессов, протекающих в системах с пониженной размерностью.

Рассматриваются различные подходы к физической классификации наноструктур, проблемы и задачи физики атомных и электронных процессов в системах со структурированием в диапазоне 10^{-6} – 10^{-9} м. Изучаются процессы переноса носителей заряда в сильнонеоднородных гетерогенных системах. Представлены основные положения и понятия теории протекания. Анализируются электрофизические свойства наноструктур, классические и квантовые размерные эффекты. Для формирования целостной картины развития нанотехнологий и установления устойчивых связей между фундаментальными теоретическими положениями и практикой рассматриваются некоторые методики получения наноструктур (в том числе на основе методов нанотехнологии), анализируются особенности применения низкоразмерных систем и наноматериалов в электронике и других областях техники.

Учебная дисциплина «Введение в физику наноструктур» входит в цикл специальных дисциплин и относится к дисциплинам государственного компонента.

Связи с другими учебными дисциплинами (включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации): материал дисциплины основан на базовых знаниях и представлениях, заложенных во время изучения дисциплин «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Физика атома и атомных явлений». Он является базовым для последующих дисциплин «Методы создания наноструктур и наноматериалов», «Фундаментальные принципы нанотехнологий», «Методы диагностики наноструктур и наноматериалов», «Наноэлектроника».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины "Введение в физику наноструктур" должно обеспечить формирование следующих компетенций:

академические компетенции:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

социально-личностные компетенции:

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике (критическое мышление).

СЛК-6. Уметь работать в команде.

профессиональные компетенции:

ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики наноматериалов и нанотехнологий, методов исследования физических объектов, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы.

ПК-2. Осуществлять на основе методов математического моделирования оценку эксплуатационных параметров функциональных наноматериалов и технологических процессов их получения.

ПК-3. Пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической и научно-педагогической работы.

ПК-6. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, включая нанотехнологии.

ПК-8. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- основные представления физики наноструктурированных материалов;
- особенности физических свойств низкоразмерных систем;
- основные области применения наноструктур;

уметь:

- прогнозировать электрические, оптические и магнитные свойства наноматериалов, исходя из данных об их составе и структуре;

владеть:

- базовыми принципами расчета размерных эффектов в наноструктурах.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 6 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Введение в физику наноструктур» отведено:

- для очной формы получения высшего образования — 94 часов, в том числе 34 аудиторных часа, из них: лекции — 28 часов, аудиторная управляемая самостоятельная работа — 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2,5 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации — экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1.

Особенности термодинамики наноструктур

Тема 1.1 Наноструктуры.

Основные термины и определения. Нанотехнологии в науке и технике. История развития, основные этапы и достижения.

Тема 1.2 Мезоскопическая физика.

Понятие о мезоскопической физике. Проблема управления свойствами материалов: композиты нанокompозиты, наноматериалы.

Тема 1.3 Правило фаз Гиббса.

Равновесие фаз. Фазовые переходы. Фазовые диаграммы однокомпонентных систем. Растворы, сплавы, фазовые диаграммы двухкомпонентных систем. Диаграммы плавкости, кипения. Эвтектика.

Тема 1.4 Дисперсные системы.

Наноструктуры и коллоидная химия. Основные подходы к классификации дисперсных систем. Золи, гели, ксерогели, цеолиты. Строение мицеллы неорганических веществ. Двойной электрический слой. Электрокинетические эффекты. Базовые понятия реологии.

Тема 1.5 Устойчивость дисперсных систем.

Поверхность и ее роль в физике дисперсных систем. Устойчивость дисперсных систем. Атомно-молекулярное взаимодействие на границах раздела фаз. Понятие об устойчивости дисперсных систем. Агрегация. Седиментация.

Тема 1.6 Поверхностная энергия и ее роль в технологиях

Поверхностная энергия. Когезия и адгезия. Давление Лапласа, капиллярные эффекты. Уравнение Кельвина (Томсона). Рост эпитаксиальных пленок. Механизмы: Франка - ван дер Мерве, Вольмера-Вебера, Странского-Крастанова.

Тема 1.7 Адсорбционные явления.

Адсорбция. Модели Ленгмюра; Брунауэра, Эммета, Теллера; капиллярная конденсация. Кинетика адсорбции и десорбции. Двумерная конденсация. Поверхностно-активные и инактивные вещества. Мицеллы ПАВ. Пленки Ленгмюра-Блуджетт.

Раздел 2.

Электрофизические и оптические свойства наноструктур, применение низкоразмерных систем в электроник

Тема 2.1 Элементы кристаллографии

Точечные, линейные и плоскостные дефекты кристаллической решетки. Твердые растворы и сплавы. Механические свойства моно- и нанокристаллических материалов; металокомпозиты и композитные стали. Мартенситные переходы, эффект памяти формы.

Тема 2.2 Начала зонной теории полупроводников

Валентная зона и зона проводимости. Распределение носителей заряда по энергиям, функция плотности состояний, уровень Ферми. Концентрация носи-

телей заряда в собственном полупроводнике. Легирование полупроводников. МДП- *p-n*- и гетероструктуры. Перенос заряда в полупроводниках и барьерных полупроводниковых структурах. Диффузионный и дрейфовый ток.

Тема 2.3 Классические и квантовые размерные эффекты

Проявление размерных эффектов в физических свойствах материалов. Характеристические длины. Длина волны де Бройля. Средний свободный пробег электрона. Диффузионная длина. Длина экранирования. Длина локализации. Перенос заряда в низкоразмерных системах. Баллистический транспорт. Резонансное туннелирование. Кулоновская блокада туннелирования.

Тема 2.4 Электронные свойства низкоразмерных структур

Квантовые точки, нити, слои. Плотность электронных состояний и размерность системы. Электронный газ в 3D, 2D, 1D, 0D- структурах. Электронный газ в магнитном поле, квантовый эффект Холла. Особенности магнитных свойств наноструктур. Суперпарамагнетизм.

Тема 2.5 Приборы наноэлектроники

Одноэлектронные устройства. Резонансно-туннельный диод. Одноэлектронный транзистор. Приборные структуры спинтроники. Элементы спинтроники и молекулярной электроники.

Тема 2.6 Оптика наноструктур

Рассеяние света дисперсными системами. Оптические свойства металлических кластеров, плазменный резонанс. Оптические свойства квантовых ям и точек. Экситоны в низкоразмерных системах. Приемники излучения на основе наноструктур. Электрооптические эффекты, лестница Штарка. Фотонные кристаллы. Метаматериалы.

Тема 2.7 Нанокompозиты

Нанокompозиты в электронике и электротехнике. Электропроводность неупорядоченных систем. Элементы теории протекания. Представительный объем. Локальная и эффективная электропроводность. Эффективные значения кинетических коэффициентов. Перколяционный переход. изолятор – проводник электрического тока.

Тема 2.8 Углеродные наноструктуры

Аллотропные формы углерода. Углеродные наноструктуры. Фуллерены. Нанотрубки. Графен. Основные наполнители для композитов и технологии получения традиционных композитов. Керамика. Керамические изделия в электронике. Полимерные композиционные материалы.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
 Дневной формы получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Аудиторный кон- троль УСР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Особенности термодинамики наноструктур	14				2			
1.1	<i>Наноструктуры.</i> Вводное занятие. Место дисциплины в образовательной программе специальности «Физика наноматериалов и нанотехнологий». Рекомендации по организации самостоятельной работы. Основные термины и определения. Нанотехнологии в науке и технике. История развития, основные этапы и достижения.	2						Письменный опрос для определения исходного уровня знаний	
1.2	<i>Мезоскопическая физика</i> Понятие о мезоскопической физике. Проблема управления свойствами материалов: композиты нанокompозиты, наноматериалы.	2					[1], [3], [4]	Устный опрос Письменный тест Реферат	
1.3.	<i>Правило фаз Гиббса</i> Равновесие фаз. Фазовые переходы. Фазовые диаграммы однокомпонентных систем. Растворы, сплавы, фазовые диаграммы двухкомпонентных систем. Диаграммы плавкости, кипения.	2					[1], [3]	Письменный тест Реферат	

	Эвтектика.								
1.4	<i>Дисперсные системы</i> Дисперсные системы. Наноструктуры и коллоидная химия. Основные подходы к классификации дисперсных систем. Золи, гели, ксерогели, цеолиты. Строение мицеллы неорганических веществ. Двойной электрический слой. Электрокинетические эффекты. Базовые понятия реологии	2						[1], [3]	Устный опрос Письменный тест Реферат
1.5	<i>Устойчивость дисперсных систем</i> Поверхность и ее роль в физике дисперсных систем. Устойчивость дисперсных систем. Атомно-молекулярное взаимодействие на границах раздела фаз. Понятие об устойчивости дисперсных систем. Агрегация. Седиментация.	2						[1], [3]	Письменный тест Реферат
1.6	<i>Поверхностная энергия и ее роль в технологиях</i> Поверхностная энергия. Когезия и адгезия. Давление Лапласа, капиллярные эффекты. Уравнение Кельвина(Томсона). Рост эпитаксиальных пленок. Механизмы: Франка - ван дер Мерве, Вольмера-Вебера, Странского-Крастанова.	2						[1], [3]	Устный опрос Письменный тест Реферат
1.7	<i>Адсорбционные явления</i> Адсорбция. Модели Ленгмюра; Брунауэра, Эммета, Теллера; капиллярная конденсация. Кинетика адсорбции и десорбции. Двумерная конденсация. Поверхностно-активные и инактивные вещества. Мицеллы ПАВ. Пленки Ленгмюра–Блоджетт.	2						[1-3]	Письменный тест Реферат
	Текущий контроль знаний студентов по разделам «Наноструктуры. Основные термины и определения» и «Особенности термодинамики наноструктур»					2			Письменное тестирование
2	Электрофизические и оптические свойства наноструктур, применение низкоразмерных систем в электронике	14				4			

2.1	<i>Элементы кристаллографии</i> Точечные, линейные и плоскостные дефекты кристаллической решетки. Твердые растворы и сплавы. Механические свойства моно- и нанокристаллических материалов; металокомпозиты и композитные стали. Мартенситные переходы, эффект памяти формы.	2						[2-4]	Письменный тест Реферат
2.2	<i>Начала зонной теории полупроводников</i> Валентная зона и зона проводимости. Распределение носителей заряда по энергиям, функция плотности состояний, уровень Ферми. Концентрация носителей заряда в собственном полупроводнике. Легирование полупроводников. МДП- <i>p-n</i> - и гетероструктуры. Перенос заряда в полупроводниках и барьерных полупроводниковых структурах. Диффузионный и дрейфовый ток.	6						[2], [5-9]	Открытые задания Письменный тест Реферат
2.3	<i>Классические и квантовые размерные эффекты</i> Проявление размерных эффектов в физических свойствах материалов. Характеристические длины. Длина волны де Бройля. Средний свободный пробег электрона. Диффузионная длина. Длина экранирования. Длина локализации. Перенос заряда в низкоразмерных системах. Баллистический транспорт. Резонансное туннелирование. Кулоновская блокада туннелирования.	1						[2], [3], [7], [8]	Письменный тест Реферат
2.4.	<i>Электронные свойства низкоразмерных структур</i> Квантовые точки, нити, слои. Плотность электронных состояний и размерность системы. Электронный газ в 3D, 2D, 1D, 0D- структурах. Электронный газ в магнитном поле, квантовый эффект Холла. Особенности магнитных свойств наноструктур. Суперпарамагнетизм.	1						[2], [3], [7], [8]	Устный опрос Письменный тест Реферат
2.5	<i>Приборы наноэлектроники</i> Одноэлектронные устройства. Резонансно-туннельный диод. Одноэлектронный транзистор. Приборные структуры спинтроники. Элементы спинтроники и молекулярной электроники.	1						[2], [3], [7], [8]	Письменный тест Реферат

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия / Е.Д. Щукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина.— М.: Высш.шк., 2004.— 455 с.
2. Борисенко, В. Е. Нанoeлектроника: теория и практика / В.Е. Борисенко, А.И. Воробьева, А.Л. Данилюк, Е.А. Уткина.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013.— 366 с.
3. Андриевский, Р. А. Наноструктурные материалы / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля.— М.: Издательский центр «Академия», 2005.— 192 с.
4. Игнатов, А.Н. Оптоэлектроника и нанoфотоника / А.Н. Игнатов.— СПб.: Издательство «Лань», 2011.— 544 с.
5. Лозовский В.Н., Нанотехнологии в электронике / В.Н. Лозовский, Г.С. Константинова, С.В. Лозовский.— СПб.: Издательство «Лань», 2008.— 338 с.
6. Игнатов, А.Н. Микросхемотехника и нанoeлектроника.— СПб.: Издательство «Лань», 2011.— 528 с.
7. Щука, А.А. Нанoeлектроника / А.А. Щука.— М.: Физматкнига, 2007.— 464 с.
8. Гантмахер, В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах / В.Ф. Гантмахер.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. —232 с.
9. Поклонский, Н.А. Основы импедансной спектроскопии композитов: курс лекций / Н.А. Поклонский, Н.И. Горбачук. —Мн.: БГУ, 2005. — 130 с.
10. Нанотехнологии в электронике-3.1 / Под редакцией чл.-корр. РАН Ю.А. Чаплыгина. —М.: Техносфера, 2016. — 480 с.
11. Лозовский В.Н., Лозовский С.В. Нанотехнологии в электронике. — СПб.: «Лань», 2018 г. — 332с.
12. Металл/полупроводник содержащие нанoкомпозиты / Под ред. Л.И. Трахтенберга, М.Я. Мельникова.— М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. — 624 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Квантовый эффект Холла / под ред. Р. Пренджа, С. Гирвина.— М.: Мир, 1989.— 408 с.
2. Херман, М. Полупроводниковые сверхрешетки / М. Херман.— М.: Мир, 1989.— 240 с.
3. Мартинес-Дуарт, Дж. М. Нанoeлектроника / Дж.М. Мартинес-Дуарт, Р.Дж. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Руеда.— М.: Техносфера, 2007.— 368 с.
4. Оптические свойства наноструктур / Л.Е. Воробьев, Ивченко Е.Л., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А.— СПб.: Наука, 2001.— 188 с.
5. Гантмахер, В. Ф. Электроны в неупорядоченных средах / В.Ф. Гантмахер.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. —232 с.

6. Демиховский, В. Я. Физика квантовых низкоразмерных структур / В.Я. Демиховский, Г. А. Вугальтер.— М.: Логос, 2000.— 248 с.
7. Имри, Й. Введение в мезоскопическую физику / Й. Имри.— М.: Физматлит, 2002.— 304 с.
8. Кобаяси, Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси.— М.: Бином. Лаборатория знаний, 2005.— 134 с.
9. Смирнов, Б. М. Физика фрактальных кластеров / Б.М. Смирнов.— М.: Наука, 1991. —136 с.
10. Забродский, А. Г. Электронные свойства неупорядоченных систем / Забродский А.Г., С.А. Немов, Ю.И. Равич.— С.-Петербург: Наука, 2000.— 72 с.
11. Виноградов, А. П. Электродинамика композиционных материалов / Под ред. Б.З. Каценеленбаума. —М.: Эдиториал УРСС, 2001. —208 с.
12. де Жен, П.-Ж. Хрупкие объекты / П.-Ж. де Жен, Ж. Бадос.— М.: Мир, 2000.— 189 с.
13. Грюнберг, П. А. От спиновых волн к гигантскому магнетосопротивлению и далее / П.А. Грюнберг // УФН.— 2008.— Т. 178, № 12.— С. 1349—1358.
14. Ферт, А. Происхождение, развитие и перспективы спинтроники / А. Ферт // УФН.— 2008.— Т. 178, № 12.— С. 1336—1348.
15. Лозовик, Ю. Е. Свойства и нанотехнологические применения нанотрубок / Ю.Е. Лозовик, А.М. Попов // УФН.— 2007.— Т. 177 № 7.— С. 786—799.
16. Вавилов, В. С. Алмаз в твердотельной электронике / В.С. Вавилов // УФН.— 1997.— Т. 167, № 1.— С. 17—22.
17. фон Клитцинг, К. Квантованный эффект Холла / К. фон Клитцинг // УФН.— 1986.— Т. 150, № 1.— С. 107—126.
18. Крёмер, Г. Квазиэлектрическое поле и разрывы зон. Обучение электронов новым фокусам / Г. Крёмер // УФН.— 2002.— Т. 172, № 9.— С. 1087—1101.
19. Лозовик, Ю. Е. Коллективные электронные явления в графене / Ю.Е. Лозовик, С.П. Меркулова, А.А. Соколик // УФН.— 2008.— Т. 178, № 7.— С. 757—776.
20. Нагаев, Э. Л. Малые металлические частицы / Э.Л. Нагаев // УФН.— 1992.— Т. 162, № 9.— С. 49—124.
21. Штёрмер, Х. Дробный квантовый эффект Холла / Х. Штёрмер // УФН.— 2000.— Т. 170, № 3.— С. 304—319.
22. Физические ограничения минимальных размеров элементов современной микроэлектроники / Ю.В. Гуляев, В.Б. Сандомирский, А.А. Суханов, Ю.Я. Ткач // УФН.— 1984.— Т. 144, № 3, С. 475—495.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для оценки результатов учебной деятельности, обучающихся рекомендуется использовать следующие средства диагностики:

1. Устные опросы.
2. Защита реферативных работ.
3. Открытые задания.
4. Письменный тест.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Оценка за ответы на лекционных занятиях (опрос) может включать в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики и т.д.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций (докладов) с последующей дискуссией. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале. При оценивании реферата (доклада) внимание обращается на: содержание и полноту раскрытия темы, структуру и последовательность изложения, источники информации (предпочтение должно отдаваться статьям в научных журналах) и корректность их использования, точность используемой терминологии и т.д.

Оценка за открытые задания может формироваться на основе следующих критериев: оригинальность предложенной гипотезы, соответствие гипотезы существующему уровню науки и техники, самостоятельность и аргументированность суждений, грамотность изложения.

Тестирование проводится в письменной форме 2-3 раза в семестр. Каждый из письменных тестов включает в себя 20-50 тестовых заданий в открытой форме. На выполнение теста отводится 90 мин. По согласованию с преподавателем разрешается использовать справочные, научные и учебные печатные издания, электронные источники информации. Каждое задание оценивается в 1 балл (если ответ верен и точен), 0,5 балла (если в ответе содержатся неточности, но в целом он верен, или же в ответе присутствуют почти завершённые рассуждения, которые при их продолжении могли бы привести к верному ответу), 0 баллов (если ответ не верен или отсутствует). Оценка теста проводится по сумме баллов, набранных за все задания, в соответствии с табл. 1.

Таблица 1 — Критерии оценки теста

Оценка	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Процент от максимально возможной суммы баллов	$\geq 98\%$	$\geq 96\%$, но $< 98\%$	$\geq 92\%$, но $< 96\%$	$\geq 86\%$, но $< 92\%$	$\geq 76\%$, но $< 86\%$	$\geq 68\%$, но $< 76\%$	$\geq 60\%$, но $< 68\%$	$\geq 40\%$, но $< 60\%$	$\geq 20\%$, но $< 40\%$	$< 20\%$

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее арифметическое оценок за каждое из письменных тестирований, оценки за защиту реферата. За ответы на лекциях, выполнение открытых заданий и участие в дискуссии студентам может быть добавлено 1 или 2 балла сверх полученной расчетом оценки.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Введение в физику наноструктур» учебным планом предусмотрен экзамен.

Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Рекомендуемые весовые коэффициенты для оценки текущей успеваемости — 0,4; для экзаменационной оценки — 0,6.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Рекомендуемые разделы для составления тестовых заданий

1. Особенности термодинамики наноструктур
2. Электрофизические и оптические свойства наноструктур, применение низкоразмерных систем в электронике

Примерные открытые задания

Тема 2.2 Начала зонной теории

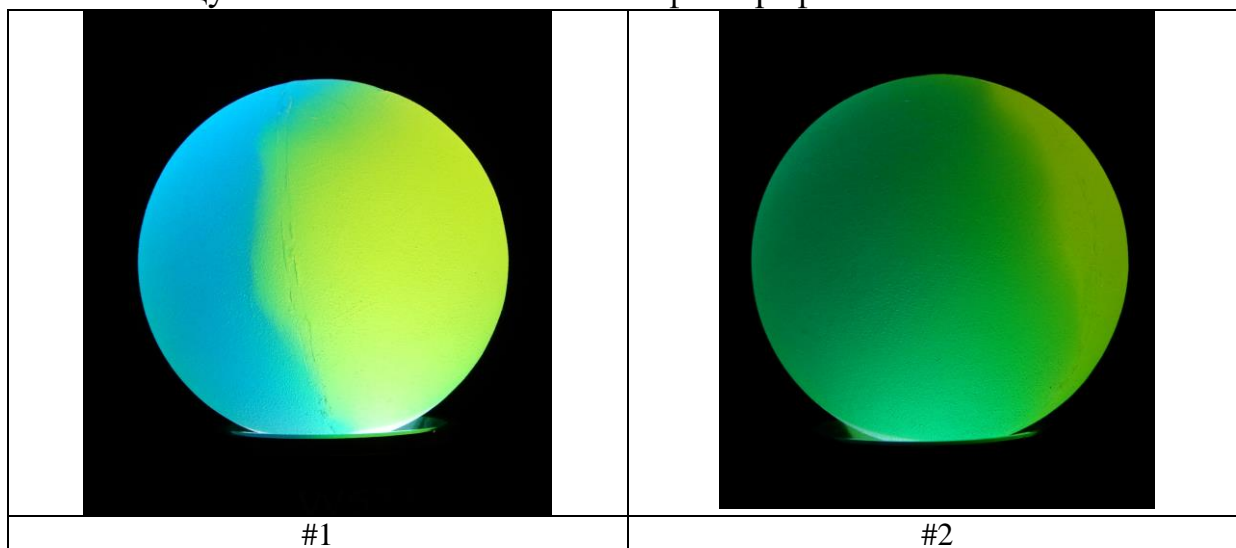
Задание — На фотографиях показана радуга над главным корпусом БГУ. Фотография сделаны цифровым фотоаппаратом Nikon COOLPIX S6500 (CMOS-матрица). Фотография #2 получена с использованием фильтра, роль которого играла пластина слаболегированного кремния толщиной 480 мкм. Предложите Ваше объяснение того факта, что изображение на фотографии #2 есть и чем вызвано появление этого изображения.



Форма отчетности — Гипотеза. Ответ должен содержать не более 5-6 абзацев. При составлении ответа обязательно: 1) сформулируйте Ваше понимание проблемы (противоречия); 2) укажите на явление, снимающее указанную Вами проблему (противоречие).

Тема 2.6. Оптика наноструктур.

Задание — На фотографиях показан один и тот же каучуковый шар. Шар содержит краситель, распределение которого неравномерно и неоднородно: одна из половин шара содержит красителя намного больше чем вторая. Подсветка шарика осуществляется снизу белым светом светодиодного фонаря. Отличие в фотографиях #1 и #2 состоит в том, что на фотографии #2 шар повернут на 90° вокруг оси, которая лежит в секущей плоскости, делящей шар на две по-разному окрашенные половины. Ось поворота также совпадает с осью симметрии фонаря. Предложите гипотезу, объясняющую столь сильное отличие в фотографиях.

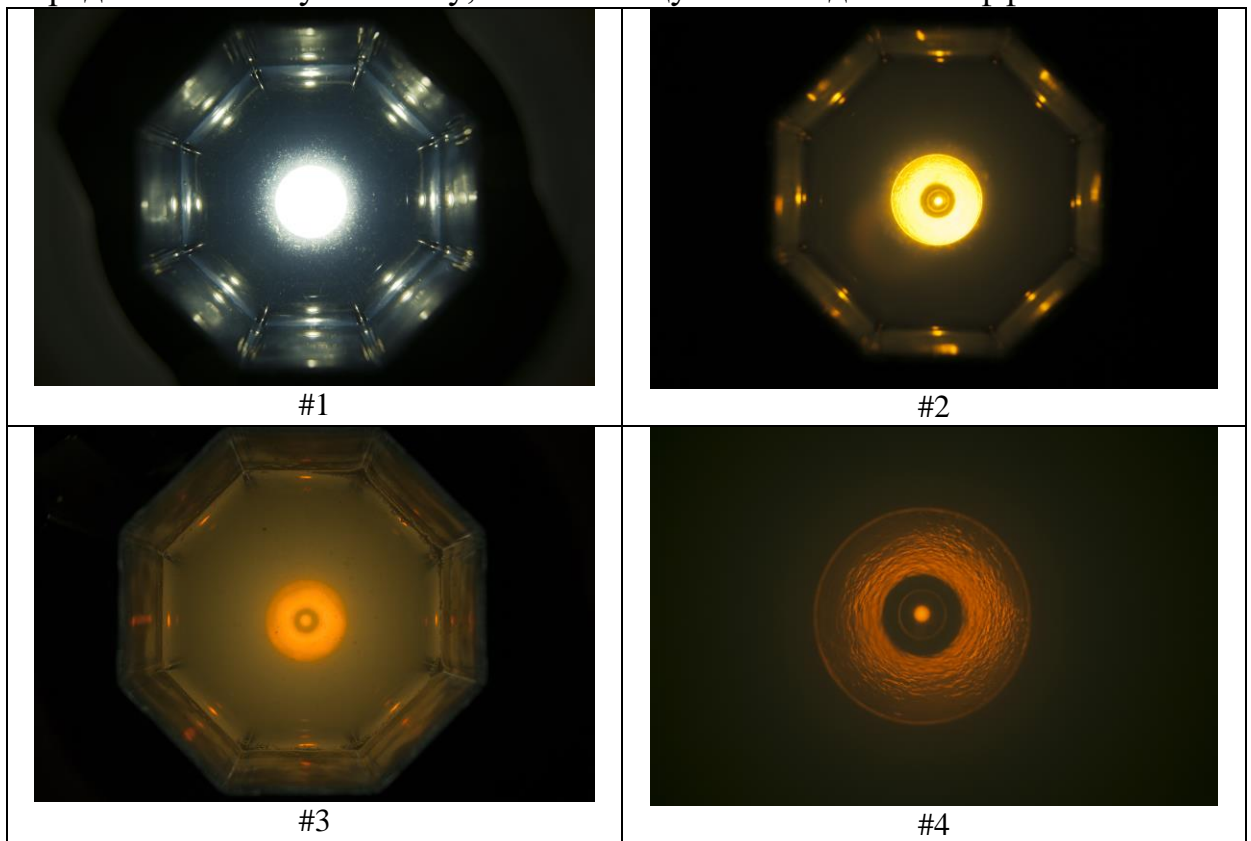


Форма отчетности — Гипотеза. Ответ должен содержать не более 5-6 абзацев.

Тема 2.6. Оптика наноструктур.

Задание — На фотографиях изображены стаканы, содержащие золь канифоли в воде. Золи приготовлены методом замещения растворителя.

Снизу стаканы подсвечиваются белым светом светодиодного фонаря. Предложите Вашу гипотезу, объясняющую наблюдаемый эффект.



Форма отчетности — Гипотеза. Ответ должен содержать не более 5-6 абзацев.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса *используются методы и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой

систему, формирующую навыки работы с информацией; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления. Формой реализации метода может выступать подготовка и защита реферативных работ.

Желательным является применение *метода учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Реализацию метода рекомендуется осуществлять во время защиты реферативных работ, организовав дискуссию обучающихся, а также в ходе самих лекций. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

При организации самостоятельной работы желательно использовать открытые задания, которые предполагают:

- приобретение студентом умений формулировать и аргументированно защищать гипотезы;
- анализ физического явления и/или процесса, используя профессиональные знания, собственный опыт, дополнительную литературу и иные источники.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления, углубления и расширения полученных теоретических знаний обучающихся;
- формирования умений использовать специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности обучающихся: творческой инициативы, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации.

Аудиторная самостоятельная работа по учебной дисциплине на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию. Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется по заданию преподавателя без его непосредственного участия.

Основными видами аудиторной самостоятельной работы при изучении дисциплины являются подготовка ответов на тесты, решение качественных задач (вопросов) предложенных в ходе занятия, участие в дискуссии на занятиях и в ходе защит реферативных работ.

Основными видами внеаудиторной самостоятельной работы при изучении дисциплины является подготовка реферативных работ решение ситуационных задач предложенных преподавателем.

Темы реферативных работ студентами выбираются из предложенного преподавателем списка не позднее чем через две недели после начала занятий. Примерный перечень тем рефератов представлен ниже. Студенты имеют право по согласованию с преподавателем сформулировать тему реферативной работы самостоятельно.

В качестве открытых заданий могут выступать задания по анализу физических явлений, процессов, технологических проблем.

При выполнении внеаудиторной самостоятельной работы обучающийся имеет право обращаться к преподавателю за консультацией.

Примерная тематика реферативных работ

1. Влияние размерных эффектов на свойства материалов: анализ проблемы на конкретных примерах.
2. Достоинства и недостатки метода эффективной среды при описании электрофизических свойств гетерогенных систем.

3. Достоинства и недостатки теории протекания при описании электропроводности гетерогенных систем.
4. Принципы, лежащие в основе теоретического описания диэлектрических свойств композиционных материалов.
5. Методы управления электропроводностью композитов.
6. Влияние характера распределения электропроводящей фазы на свойства бинарной гетерогенной системы проводник-изолятор.
7. Задачи теории протекания.
8. Частные случаи фрактального строения гетерогенных систем. Роль масштаба.
9. Применение композиционных материалов в электротехнике.
10. Градиентные композиционные материалы: области их использования и технология получения.
11. Перспективные технологии получения композиционных материалов.
12. Биологические композиционные материалы и биосовместимые композиты: их особенности и применение.
13. Влияние технологии получения полимерных композиционных материалов на их электрофизические свойства.
14. Электропроводящие аморфные полупроводники: особенности строения и применения.
15. Нанокристаллические полупроводниковые материалы и их применение в электронике.
16. Ситаллы: особенности структуры, определяющие отличие их свойств от свойств керамик, технологии изготовления, использование в электронике и электротехнике.
17. Керамические материалы для варисторов: особенности структуры и свойств.
18. Керамические материалы для конденсаторов: особенности структуры и свойств.
19. Материалы для электродов электрохимических источников тока: структура и свойства, определяющие эксплуатационную эффективность.
20. Сенсоры на основе композиционных материалов.
21. Строение и свойства аэрогелей и технологии их изготовления.
22. Материалы для адсорбентов, особенности состава и структуры, определяющие функциональное назначение.
23. Технологии формирования пленок Лэнгмюра-Блоджет и их применение в технике.
24. Молекулярные транзисторы, молекулярные элементы памяти: физико-технические принципы, лежащие в основе их работы.
25. Гигантский магниторезистивный эффект и его использование в технике.
26. Туннельный магниторезистивный эффект и его использование в технике.
27. Перспективы и проблемы развития полупроводниковой спинтроники.
28. Перспективы и проблемы развития фотоприемников на основе квантоворазмерных структур.

29. Перспективы и проблемы развития источников излучения на основе квантоворазмерных структур.
30. Нанороботы: мифы и реальность.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Наноматериалы и нанотехнологии: предпосылки развития и история.
2. Гетерогенность и однородность. Дисперсные системы, основные подходы к классификации дисперсных систем.
3. Лио- и гидрозолы и их использование в промышленности
4. Эмульсии и их использование в промышленности
5. Правило фаз Гиббса
6. Агрегатные состояния веществ. Примеры построения фазовых диаграмм для однокомпонентных систем.
7. Диаграммы кипения бинарных систем.
8. Диаграммы плавкости бинарных систем. Эвтектики.
9. Сплавы и твердые растворы.
10. Образование зародышей при фазовых переходах. Критический размер зародыша.
11. Кристаллическая решетка, дефекты кристаллической решетки, механизм пластической деформации в металлах.
12. Прочность материалов, конструкционные наноматериалы, сплавы с эффектом памяти формы.
13. Методы повышения прочности металлических изделий. Сплавы железа.
14. Поверхность и ее роль в физике дисперсных систем.
15. Атомно-молекулярное взаимодействие на границах раздела фаз.
16. Устойчивость дисперсных систем, агрегация, седиментация.
17. Адсорбция, модель Ленгмюра, полимолекулярная адсорбция.
18. Рост тонких пленок. Модели Франка - ван дер Мерве, Вольмера-Вебера, Странского-Крастанова.
19. Двойной электрический слой.
20. Хроматография.
21. Поверхностно-активные и инактивные вещества.
22. Строение мицелл поверхностно-активных веществ.
23. Строение мицелл неорганических веществ.
24. Пленки Ленгмюра-Блоджет.
25. Уравнение Томсона (Кельвина), капиллярная конденсация, изотермическая перегонка.
26. Давление Лапласа, капилляры, пористые гетерогенные системы и их применение в промышленности.

27. Аксиомы и простейшие модели реологии.
28. Правила построения моделей в реологии.
29. Модель Максвелла (упруговязкое тело). Время релаксации напряжения сдвига.
30. Модель Бингама. Тиксотропия.
31. Зонная структура металлов, полупроводников, диэлектриков. Эффективная масса носителей заряда.
32. Собственные и легированные полупроводники. Концентрация носителей заряда в полупроводниках.
33. Перенос зарядов в полупроводниках. Дрейфовый и диффузионные токи.
34. Спектр поглощения электромагнитного излучения полупроводниками в оптическом диапазоне.
35. Полупроводниковые барьерные структуры (*pn*-структуры, МДП и структуры Шоттки).
36. Средний свободный пробег электрона, классические размерные эффекты в электропроводности наноструктур, баллистический транспорт.
37. Квантовые точки, нити, слои, квантовые размерные эффекты. Плотность электронных состояний и размерность системы.
38. Кулоновская блокада туннелирования.
39. Электронный газ в магнитном поле, квантовый эффект Холла
40. Рассеяние света в нанодисперсных системах. Оптические свойства квантовых ям и точек.
41. Эффективные значения кинетических коэффициентов. Локальная и эффективная электропроводность.
42. Элементы теории перколяции. Переход металл – диэлектрик.
43. Углеродные наноструктуры. Аллотропные формы углерода. Фуллерены. Нанотрубки. Графен.
44. Нанокompозиты и наноматериалы, перспективы их использования.
45. Керамика. Керамические изделия в электронике.
46. Резонансно-туннельный диод и одноэлектронные устройства.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Методы создания наноструктур и наноматериалов	Кафедра физики полупроводников и нанoeлектроники	нет	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения (протокол № 7 от 16.03.2020г.)
Фундаментальные принципы нанотехнологий	Кафедра физики полупроводников и нанoeлектроники	нет	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения (протокол № 7 от 16.03.2020г.)
Методы диагностики наноструктур и наноматериалов	Кафедра физики полупроводников и нанoeлектроники	нет	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения (протокол № 7 от 16.03.2020г.)
Нанoeлектроника	Кафедра физики полупроводников и нанoeлектроники	нет	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения (протокол № 7 от 16.03.2020г.)

