

Белорусский государственный университет



Проректор по учебной работе  
по образовательным инновациям  
О.Н. Здрок

«28» січня 2021 г.

Регистрационный № УД- 9715 /уч.

***ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ***

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:**

**1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий**

2021 г.

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

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**Н.А. Поклонский** — профессор кафедры физики полупроводников и наноэлектроники Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**А.П. Сайко** — заместитель генерального директора ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», заведующий лабораторией теории твердого тела, доктор физико-математических наук;

**И.Д. Феранчук** — профессор кафедры теоретической физики Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники  
(протокол № 9 от 6 апреля 2021 г.);

Научно-методическим Советом БГУ  
(протокол № 5 от 24 мая 2021 г.)

Заведующий кафедрой



Оджаев В.Б.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Фундаментальные принципы нанотехнологий» разработана для студентов специальности 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий.

### **Цели и задачи учебной дисциплины**

**Цель** ознакомление студентов с современными представлениями физики и технологии наноразмерных элементов и систем, формирование знаний об их механических, электрических, магнитных и оптических свойствах, а также о возможностях применения в наноэлектронике.

**Задачи учебной дисциплины:** выработка умения самостоятельно приобретать и расширять знания в области нанотехнологий для последующей работы в исследовательской деятельности и nanoиндустрии.

В настоящее время появилась возможность проверки ряда положений квантовой механики на новых, созданных человеком объектах исследований. Поэтому в курсе лекций освещаются основы физики процессов в приборных структурах и материалах с размерами в диапазоне 100–1 нм. Анализируются условия получения наноразмерных систем (элементов, структур) методами нанотехнологии, а также их применения. Рассматриваются: молекулярные аспекты симметрии конденсированных систем различной размерности (квантовых точек, нитей, слоев, сверхрешеток); холодные катоды; туннельные и интерференционные явления в квантоворазмерных структурах; туннельный микроскоп; фотоприемники и источники света на основе низкоразмерных систем; квантовая метрология; функциональные элементы молекулярной электроники и спинтроники.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием — обучение современным представлениям физики и технологии наноразмерных элементов и систем для решения исследовательских и прикладных задач.

Учебная дисциплина относится к **циклу** специальных дисциплин (государственный компонент).

**Связи** с другими учебными дисциплинами: материал курса основан на знаниях и представлениях, заложенных в дисциплине специализации «Методы создания наноструктур и наноматериалов», он является базовым для дисциплины специализации «Методы диагностики наноструктур и наноматериалов».

### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Фундаментальные принципы нанотехнологий» должно обеспечить формирование следующих **академических, социально-личностных и профессиональных** 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-1. Обладать качествами гражданственности.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-4. Владеть навыками здорового образа жизни.

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.

ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

ПК-10. Реализовывать методы защиты производственного персонала и населения в условиях возникновения аварий, катастроф, стихийных бедствий и обеспечения радиационной безопасности при осуществлении научной, производственной и педагогической деятельности.

ПК-11. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

ПК-12. Определять цели инноваций и способы их достижения.

ПК-13. Применять методы анализа и организации внедрения инноваций в научно-производственной, научно-педагогической и научно-технической деятельности.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

**знать:**

– физико-химические принципы современных технологий создания низкоразмерных систем и формирования на их основе наноматериалов и элементов приборных структур;

**уметь:**

– рассчитывать основные параметры технологических процессов формирования и модификации атомных кластеров, фуллеренов, углеродных нанотрубок, тонких нитей и пленок;

**владеть:**

– основными методами оценки условий термодинамического равновесия и расчета кинетических коэффициентов в процессах с низкоразмерными системами;

– методиками расчета параметров технологических процессов формирования наноструктур.

### **Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 8-м семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Фундаментальные принципы нанотехнологий» отведено:

– для очной формы получения высшего образования — 56 часов, в том числе 34 аудиторных часов, из них: лекции — 28 часов, управляемая самостоятельная работа — 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 1,5 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации — зачет.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### Раздел 1. Нанотехнологии: основные понятия

#### Тема 1.1. Топология и размерность систем. Технологии материалов различной размерности

Топология и размерность систем. Технологии материалов различной размерности: атомных кластеров, фуллеренов, углеродных нанотрубок, графена, квазикристаллов, фотонных кристаллов, метаматериалов.

#### Тема 1.2. Одиночные и консолидированные низкоразмерные системы

Одиночные и консолидированные низкоразмерные системы. Наноструктурированные материалы (наноматериалы, нанокомпозиты, состоящие из низкоразмерных систем).

### Раздел 2. Теория одиночных и консолидированных низкоразмерных систем

#### Тема 2.1. Молекулярные аспекты симметрии

Точечные группы симметрии. Симметрия макромолекул. Точечная и трансляционная симметрии решеток.

#### Тема 2.2. Начала теории низкоразмерных систем и приборов на их основе

Квазичастицы в кристаллах и низкоразмерных системах. Введение в теорию низкоразмерных систем, наноматериалов и приборов на их основе.

### Раздел 3. Инженерия низкоразмерных систем и наноструктурированных материалов

#### Тема 3.1. Методы модификация низкоразмерных систем ионизирующим излучением и посредством химических реакций

Молекулярное зодчество. Катализ. Магнитохимия. Диспергирование и сборка низкоразмерных систем и наноструктурированных материалов.

#### Тема 3.2. Точечные дефекты (атомы примесей), дислокации, двойники, дефекты упаковки — низкоразмерные системы в кристаллических матрицах

Точечные дефекты (атомы примесей) и их ассоциаты, дислокации, двойники, дефекты упаковки — низкоразмерные системы в кристаллических матрицах. Оптический аналог эффекта Мёссбауэра на точечных дефектах структуры (строения) кристаллов.

## **Раздел 4. Применение низкоразмерных систем и наноструктурированных материалов в электромеханике, электронике, спинтронике, фотонике и энергетике**

### **Тема 4.1. Термически-, оптически-, электрически- и магнитоактивированные процессы в низкоразмерных системах**

Баллистическое движение электронов в низкоразмерных приборных структурах. Инжекционные электрические токи. Магнитопластичность наноматериалов. Ультразвуковой капиллярный эффект.

### **Тема 4.2. Применение низкоразмерных систем**

Электромеханические мембраны на основе графена. Катоды с отрицательным электронным средством. Квантование электрического сопротивления. Твердотельная индуктивность. Квантовая электрическая емкость. Интерференционные фильтры на основе низкоразмерных систем.

### **Тема 4.3. Применение наноструктурированных материалов в энергетике**

Наноматериалы для фото- и теплоэнергетики.

### **Тема 4.4. Устройства на основе низкоразмерных систем и наноматериалов**

Устройства на основе одиночных низкоразмерных систем и консолидированных низкоразмерных систем (наноструктурированных материалов).

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР (ДО)	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Аудиторный контроль УСР		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>1</b>	<b>Нанотехнологии: основные понятия</b>	<b>6</b>						
1.1	<i>Топология и размерность систем. Технологии материалов различной размерности</i> 1. Топология и размерность систем. Технологии материалов различной размерности: атомных кластеров, фуллеренов, углеродных нанотрубок, графена, квазикристаллов, фотонных кристаллов, метаматериалов.	2						Опрос
1.2	<i>Одиночные и консолидированные низкоразмерные системы</i> 1. Одиночные и консолидированные низкоразмерные системы. 2. Наноструктурированные материалы (наноматериалы, нанокompозиты, состоящие из низкоразмерных систем).	2 2						Опрос
<b>2</b>	<b>Теория одиночных и консолидированных низкоразмерных систем</b>	<b>10</b>				<b>2</b>		
2.1	<i>Молекулярные аспекты симметрии</i> 1. Точечные группы симметрии. 2. Симметрия макромолекул. 3. Точечная и трансляционная симметрии решеток.	2 2 2						Опрос
2.2	<i>Начала теории низкоразмерных систем и приборов на их основе</i> 1. Квазичастицы в кристаллах и низкоразмерных системах.	2				2		Контрольная работа № 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2. Введение в теорию низкоразмерных систем, наноматериалов и приборов на их основе.	2						по разделам № 1 и 2
<b>3</b>	<b>Инженерия низкоразмерных систем и наноструктурированных материалов</b>	<b>4</b>				<b>2</b>		
3.1	<i>Методы модификация низкоразмерных систем ионизирующим излучением и посредством химических реакций</i> 1. Молекулярное зодчество. Катализ. Магнитохимия. 2. Диспергирование и сборка низкоразмерных систем и наноструктурированных материалов.	2						Опрос
3.2	<i>Точечные дефекты (атомы примесей), дислокации, двойники, дефекты упаковки — низкоразмерные системы в кристаллических матрицах</i> 1. Точечные дефекты (атомы примесей) и их ассоциаты, дислокации, двойники, дефекты упаковки — низкоразмерные системы в кристаллических матрицах. 2. Оптический аналог эффекта Мёссбауэра на точечных дефектах структуры (строения) кристаллов.	2				2		Защита рефератов
<b>4</b>	<b>Применение низкоразмерных систем и наноструктурированных материалов в электромеханике, электронике, спинтронике, фотонике и энергетике</b>	<b>8</b>				<b>2</b>		
4.1	<i>Термически-, оптически-, электрически- и магнитоактивированные процессы в низкоразмерных системах</i> 1. Баллистическое движение электронов в низкоразмерных приборных структурах. 2. Инжекционные электрические токи. 3. Магнитопластичность наноматериалов. 4. Ультразвуковой капиллярный эффект.	2						Опрос
4.2	<i>Применение низкоразмерных систем</i> 1. Электромеханические мембраны на основе графена. 2. Катоды с отрицательным электронным средством. 3. Квантование электрического сопротивления.	2						Опрос

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	4. Твердотельная индуктивность. Квантовая электрическая емкость. 5. Интерференционные фильтры на основе низкоразмерных систем.							
4.3	<i>Применение наноструктурированных материалов в энергетике</i> 1. Наноматериалы для фото- и теплоэнергетики.	2						Опрос
4.4	<i>Устройства на основе низкоразмерных систем и наноматериалов</i> 1. Устройства на основе одиночных низкоразмерных систем и консолидированных низкоразмерных систем (наноструктурированных материалов).	2				2		Контрольная работа № 2 по разделам № 3 и 4

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. Абрикосов, А.А. Основы теории металлов / А.А. Абрикосов. – М.: Наука, 1987. – 520 с.
2. Андриевский, Р.А. Наноструктурные материалы / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. – М.: Академия, 2005. – 192 с.
3. Андриевский, Р.А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы / Р.А. Андриевский. – М.: Лаборатория знаний, 2020. – 255 с.
4. Брандт, Н.Б. Квазичастицы в физике конденсированного состояния / Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский. – М.: Физматлит, 2016. – 632 с.
5. Булярский, С.В. Термодинамика и кинетика взаимодействующих дефектов в полупроводниках / С.В. Булярский, В.И. Фистуль. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 352 с.
6. Гирвин, С. Квантовый эффект Холла: необычные возбуждения и нарушенные симметрии / С. Гирвин. – Москва–Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2003. – 156 с.
7. Гонда, С. Оптоэлектроника в вопросах и ответах / С. Гонда, Д. Сэко. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 184 с.
8. Демиховский, В.Я. Физика квантовых низкоразмерных структур / В.Я. Демиховский, Г.А. Вугальтер. – М.: Логос, 2000. – 248 с.
9. Дубровский, В.Г. Теоретические основы полупроводниковой нанотехнологии / В.Г. Дубровский. – СПб.: СПбГУ, 2007. – 343 с.
10. Дьячков, П.Н. Электронные свойства и применение нанотрубок / П.Н. Дьячков. – М.: Лаборатория знаний, 2020. – 291 с.
11. Зенгуил, Э. Физика поверхности / Э. Зенгуил. – М.: Мир, 1990. – 536 с.
12. Имри, Й. Мезоскопическая физика / Й. Имри. – М.: Физматлит, 2004. – 304 с.
13. Кобаяси, Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси. – М.: БИНОМ, 2008. – 134 с.
14. Мартинес-Дуарт, Дж.М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж.М. Мартинес-Дуарт, Р.Дж. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Руеда. – М.: Техносфера, 2009. – 368 с.
15. Мартин-Пальма, Р. Нанотехнологии — ударный вводный курс / Р. Мартин-Пальма, А. Лахтакия. – Долгопрудный: Интеллект, 2014. – 208 с.
16. Нанотехнологии. Азбука для всех / под ред. Ю.Д. Третьякова. – М.: Физматлит, 2008. – 368 с.
17. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика, приборы / под ред. В.В. Лучинина, Ю.М. Таирова. – М.: Физматлит, 2006. – 552 с.
18. Поклонский, Н.А. Конечные группы симметрии. Основы и приложения: Учеб. пособие / Н.А. Поклонский, А.Т. Власов, С.А. Вырко. – Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2011. – 464 с.

19. Поклонский, Н.А. Статистическая физика полупроводников / Н.А. Поклонский, С.А. Вырко, С.Л. Поденок. – М.: КомКнига, 2005. – 264 с.
20. Раков, Э.Г. Неорганические наноматериалы / Э.Г. Раков. – М.: Лаборатория знаний, 2020. – 480 с.
21. Раков, Э.Г. Нанотрубки и фуллерены / Э.Г. Раков. – М.: Логос, 2006. – 376 с.
22. Рамбиди, Н.Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н.Г. Рамбиди, А.В. Березкин. – М.: Физматлит, 2008. – 456 с.
23. Старостин, В.В. Материалы и методы нанотехнологий / В.В. Старостин. – М.: БИНОМ, 2012. – 431 с.
24. Щука, А.А. Нанoeлектроника / А.А. Щука. – М.: Физматкнига, 2007. – 464 с.

### Перечень дополнительной литературы

1. Абрикосов, А.А. Сверхпроводники второго рода и вихревая решетка / А.А. Абрикосов // УФН. – 2004. – Т. 174, № 11. – С. 1234–1239.
2. Адлер, Д. Приборы на аморфных полупроводниках / Д. Адлер // УФН. – 1978. – Т. 125, № 4. – С. 707–730.
3. Акасаки, И. Увлекательные приключения в поисках синего света / И. Акасаки // УФН. – 2016. – Т. 186, № 5. – С. 504–517.
4. Алферов, Ж.И. Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологии / Ж.И. Алферов // УФН. – 2002. – Т. 172, № 9. – С. 1068–1086.
5. Аmano, Х. Выращивание кристалла GaN на сапфировой подложке методом низкотемпературного осаждения буферного слоя и получение кристалла GaN *p*-типа с помощью допирования магнием и дальнейшего облучения низкоэнергетическим электронным пучком / Х. Аmano // УФН. – 2016. – Т. 186, № 5. – С. 518–523.
6. Бинниг, Г. Сканирующая туннельная микроскопия — от рождения к юности / Г. Бинниг, Г. Рорер // УФН. – 1988. – Т. 154, № 2. – С. 261–278.
7. Бомейстер, Ф. Оптические интерференционные покрытия / Ф. Бомейстер, Дж. Пинкус // УФН. – 1973. – Т. 110, № 2. – С. 293–307.
8. Вайскопф, В. Образование куперовских пар и природа сверхпроводящих токов / В. Вайскопф // УФН. – 1983. – Т. 140, № 1. – С. 117–135.
9. Волков, В.А. Поверхность с высокими кристаллографическими индексами — сверхрешетка для двумерных электронов / В.А. Волков, В.А. Петров, В.Б. Сандомирский // УФН. – 1980. – Т. 131, № 3. – С. 423–440.
10. Гайдуков, Ю.П. Электронные свойства вискероов / Ю.П. Гайдуков // УФН. – 1984. – Т. 142, № 4. – С. 571–597.
11. Газале, М. Гномон. От фараонов до фракталов / М. Газале. – М.: Ин-т компьютерных исследований, 2002. – 272 с.
12. Гейм, А.К. Случайные блуждания: непредсказуемый путь к графену / А.К. Гейм // УФН. – 2011. – Т. 181, № 12. – С. 1284–1298.

13. Гиавер, И. Туннелирование электронов и сверхпроводимость / И. Гиавер // УФН. – 1975. – Т. 116, № 4. – С. 585–595.
14. Гинзбург, В.Л. О сверхпроводимости и сверхтекучести (что мне удалось сделать, а что не удалось), а также о «физическом минимуме» на начало XXI века / В.Л. Гинзбург // УФН. – 2004. – Т. 174, № 11. – С. 1240–1255.
15. Грюнберг, П.А. От спиновых волн к гигантскому магнетосопротивлению и далее / П.А. Грюнберг // УФН. – 2008. – Т. 178, № 12. – С. 1349–1358.
16. Гуляев, Ю.В. Акустоэлектроника (исторический обзор) / Ю.В. Гуляев // УФН. – 2005. – Т. 175, № 8. – С. 887–895.
17. Джозефсон, Б. Открытие туннельных сверхпроводящих токов / Б. Джозефсон // УФН. – 1975. – Т. 116, № 4. – С. 597–603.
18. де Жен, П.-Ж. Хрупкие объекты / П.-Ж. де Жен, Ж. Бадос. – М.: Мир, 2000. – 189 с.
19. Демельт, Х. Эксперименты с покоящейся изолированной субатомной частицей / Х. Демельт // УФН. – 1990. – Т. 160, № 12. – С. 129–139.
20. Килби, Дж.С. Возможное становится реальным: изобретение интегральных схем / Дж.С. Килби // УФН. – 2002. – Т. 172, № 9. – С. 1102–1109.
21. фон Клитцинг, К. Квантованный эффект Холла / К. фон Клитцинг // УФН. – 1986. – Т. 150, № 1. – С. 107–126.
22. Крёмер, Г. Квазиэлектрическое поле и разрывы зон. Обучение электронов новым фокусам / Г. Крёмер // УФН. – 2002. – Т. 172, № 9. – С. 1087–1101.
23. Лафлин, Р.Б. Дробное квантование / Р.Б. Лафлин // УФН. – 2000. – Т. 170, № 3. – С. 292–303.
24. Нагаев, Э.Л. Малые металлические частицы / Э.Л. Нагаев // УФН. – 1992. – Т. 162, № 9. – С. 49–124.
25. Накамура, Ш. История изобретения эффективных синих диодов на основе InGaN / Ш. Накамура // УФН. – 2016. – Т. 186, № 5. – С. 524–536.
26. Новоселов, К.С. Материалы Флатландии / К.С. Новоселов // УФН. – 2011. – Т. 181, № 12. – С. 1299–1311.
27. Субмонослойные пленки на поверхности металлов / Л.А. Большов [и др.] // УФН. – 1977. – Т. 122, № 1. – С. 125–158.
28. Пауль, В. Электромагнитные ловушки для заряженных и нейтральных частиц / В. Пауль // УФН. – 1990. – Т. 160, № 12. – С. 109–127.
29. Ферт, А. Происхождение, развитие и перспективы спинтроники / А. Ферт // УФН. – 2008. – Т. 178, № 12. – С. 1336–1348.
30. Физические ограничения минимальных размеров элементов современной микроэлектроники / Ю.В. Гуляев [и др.] // УФН. – 1984. – Т. 144, № 3, С. 475–495.
31. Хоффман, Р. Такой одинаковый и разный мир / Р. Хоффман. – М.: Мир, 2001. – 294 с.

32. Цидильковский, И.М. Электроны и дырки в поле сил инерции / И.М. Цидильковский // УФН. – 1975. – Т. 115, № 2. – С. 321–331.
33. Цуи, Д. Соотношение беспорядка и взаимодействия в двумерном электронном газе, помещенном в сильное магнитное поле / Д. Цуи // УФН. – 2000. – Т. 170, № 3. – С. 320–324.
34. Чернозатонский, Л.А. Новые наноструктуры на основе графена: физико-химические свойства и приложения / Л.А. Чернозатонский, П.Б. Сорокин, А.А. Артюх // Успехи химии. – 2014. – Т. 83, № 3. – С. 251–279.
35. Штёрмер, Х. Дробный квантовый эффект Холла / Х. Штёрмер // УФН. – 2000. – Т. 170, № 3. – С. 304–319.
36. Эсаки, Л. Путешествие в страну туннелирования / Л. Эсаки // УФН. – 1975. – Т. 116, № 4. – С. 569–583.

### **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки**

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать письменные контрольные работы по разделам дисциплины, защиту реферативных работ, устные опросы. 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 лекциях (опрос) занятиях включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики.

Контрольные работы проводятся в письменной форме. По согласованию с преподавателем при подготовке ответа разрешается использовать справочные и учебные издания. Оценка каждой контрольной работы проводится по десятибалльной шкале.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале.

При оценивании реферата обращается внимание на содержание и полноту раскрытия темы, структуру и последовательность изложения, источники и их интерпретацию, корректность оформления.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждую контрольную работу и оценки за защиту реферата.

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- Опрос – 10%;
- Контрольная работа № 1 – 30%;
- Защита рефератов – 30%;
- Контрольная работа № 2 – 30%.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета.

Оценка текущей успеваемости служит для определения допуска к зачету по дисциплине. В случае получения неудовлетворительной (ниже 4 баллов) оценки по текущему контролю обучающийся не допускается к зачету.

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов**

#### **Раздел 1. Нанотехнологии: основные понятия (2 часа)**

Топология и размерность систем. Технологии материалов различной размерности. Одиночные и консолидированные низкоразмерные системы.

#### **Раздел 2. Теория одиночных и консолидированных низкоразмерных систем**

Молекулярные аспекты симметрии. Симметрия макромолекул. Точечная и трансляционная симметрии решеток. Начала теории низкоразмерных систем и приборов на их основе. Квазичастицы в кристаллах и низкоразмерных системах.

(Форма контроля – Контрольная работа № 1).

#### **Тема 3.2. Точечные дефекты (атомы примесей), дислокации, двойники, дефекты упаковки — низкоразмерные системы в кристаллических матрицах (2 часа)**

Точечные дефекты (атомы примесей) и их ассоциаты, дислокации, двойники, дефекты упаковки — низкоразмерные системы в кристаллических матрицах. Оптический аналог эффекта Мёссбауэра на точечных дефектах структуры (строения) кристаллов.

(Форма контроля – Защита рефератов).

#### **Раздел 3. Инженерия низкоразмерных систем и наноструктурированных материалов (2 часа)**

Методы модификация низкоразмерных систем ионизирующим излучением и посредством химических реакций. Точечные дефекты (атомы примесей), дислокации, двойники, дефекты упаковки — низкоразмерные системы в кристаллических матрицах

#### **Раздел 4. Применение низкоразмерных систем и наноструктурированных материалов в электромеханике, электронике, спинтронике, фотонике и энергетике**

Термически-, оптически-, электрически- и магнитоактивированные процессы в низкоразмерных системах. Применение низкоразмерных систем. Применение наноструктурированных материалов в энергетике. Устройства на основе низкоразмерных систем и наноматериалов.

(Форма контроля – Контрольная работа № 2).

## **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса по дисциплине используются: **метод группового обучения**, который представляет собой форму организации учебно-познавательной деятельности студентов, предполагающую функционирование разных типов малых групп, работающих как над общими, так и специфическими учебными заданиями;

**метод учебной дискуссии**, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме курса;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельную проработку;
- подготовка и написание рефератов и презентаций на заданные темы;
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к зачету.

### **Темы реферативных работ**

1. Точечная симметрия молекул.
2. Симметрия кристаллов.
3. Технология фуллеренов из углерода.
4. Углеродные нанотрубки.
5. Графен (монослой графита).
6. Состояния электронов (и дырок) в низкоразмерных системах.
7. Туннельные явления в проводниках электричества.
8. Непрямые и прямые переходы электронов и дырок в пространстве квазиимпульсов.
9. Непрямые и прямые переходы электронов и дырок в координатном пространстве.
10.  $\delta$ -Легированные слои в кристаллах. Технология сверхрешеток.
11. Эмиссия электронов из низкоразмерных систем в вакуум.

12. Электрические явления в пленках изоляторов, полупроводников и металлов.
13. Интерференционные покрытия.
14. Эффект Казимира: применение в нанoeлектромеханике.
15. В поисках синего света.
16. Точечные дефекты кристаллов. Центры яркой люминесценции.
17. Микрорентгеновская оптика: физика и технология.
18. Технология и физика оконных стекол.
19. Фотонные кристаллы.
20. Инверсные состояния в конденсированных системах.
21. Синтетические алмазы: принципы технологии получения и свойства.
22. Технология низкоразмерных систем.
23. Метаматериалы: физика и технология.
24. Спиновые стекла: технология и применение.

### **Примерный перечень вопросов к зачету**

1. Методы нанотехнологий: дезинтеграция и молекулярное зодчество.
2. Одиночные и консолидированные низкоразмерные системы.
3. Наноструктурированные материалы (наноматериалы, нанокомпозиты).
4. Симметрия молекул.
5. Симметрия фуллеренов и углеродных нанотрубок.
6. Симметрия двумерных решеток. Графен.
7. Симметрия трехмерных решеток. Алмаз. Фотонные кристаллы.
8. Методы получения низкоразмерных систем и наноматериалов.
9. Катализаторы химических реакций. Магнитохимия.
10. Капиллярность и смачивание в низкоразмерных системах. Ультразвуковой капиллярный эффект.
11. Лазерное распыление (абляция) материалов.
12. Имплантация (внедрение) ионов в диэлектрики, полупроводники, металлы.
13. Нанотехнологии функциональных материалов: гранул, нитей, пленок, нанокомпозитов, мягких материалов.
14. Диагностика и методы исследования одиночных и консолидированных низкоразмерных систем.
15. Инжекционные электрические токи в изоляторах. Кулоновская блокада.
16. Технология катодов с отрицательным электронным средством.
17. Баллистическое движение электронов в приборных структурах. Квантование электрического сопротивления.
18. Физика и техника твердотельной индуктивности.
19. Физика и техника квантовой электрической емкости.
20. Низкоразмерные консолидированные системы для фото- и теплоэнергетики.

21. Применение наноструктурированных материалов в акустике, электро-механике, оптике, электронике и спинтронике.
22. Устройства на основе одиночных низкоразмерных систем и наноматериалов.
23. Геркон. Светоизлучательная полупроводниковая структура на основе оптического аналога эффекта Мёссбауэра.
24. Микрокапиллярная рентгеновская оптика.
25. Аналитическое и численное моделирование низкоразмерных систем.

## 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	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 9 от 06.04.2021 г.)
Методы диагностики наноструктур и наноматериалов	кафедра физики полупроводников и нанoeлектроники	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 9 от 06.04.2021 г.)

