

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Радиоэлектроники и телекоммуникационных систем»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №13 от 02 июня 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«ФИЗИКА НАНОСИСТЕМ»

Направление: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Компоненты микро- и наносистемной техники

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой
электронной подписью
Составитель программы:
Иванов Николай Аркадьевич
Дата подписания: 04.08.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Утвердил: Ченский Александр
Геннадьевич
Дата подписания: 22.09.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Согласовал: Ниндакова Лидия
Очировна
Дата подписания: 27.08.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Физика наносистем» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПКР-2 Способность выбирать и применять на практике методы и средства планирования и организации исследований и разработок, методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации	ПКР-2.1

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПКР-2.1	Знает основные технологические приемы получения наноразмерных систем. Умеет классифицировать аллотропные формы углерода. Владеет теоретическими методами описания особенностей поведения электронов в двумерных структурах	Знать Знать основные технологические приемы получения наноразмерных систем; физические и химические особенности наноразмерных структур; основные виды размерно-ограниченных структур и их описание. Уметь Уметь классифицировать различные типы размерно-ограниченных структур, аллотропные формы углерода, моделировать поведение электронов в наноструктурах Владеть Владеть теоретическими методами описания особенностей поведения электронов в размерно-ограниченных структурах

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Физика наносистем» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Физика», «Химия»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Физические основы микро- и наносистемной техники», «Физические основы оптоэлектроники»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 3
Общая трудоемкость дисциплины	108	108
Аудиторные занятия, в том числе:	48	48

лекции	32	32
лабораторные работы	0	0
практические/семинарские занятия	16	16
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	60	60
Трудоемкость промежуточной аттестации	0	0
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет	Зачет

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 3

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Кристаллофизика наносистем. Наноструктуры и методы их симметричного описания	1	2			1	2			Устный опрос
2	Квантовые размерные эффекты, масштабирование . Теория квантовых переходов. Обменное взаимодействие	2	6			2	2	3	30	Устный опрос
3	Энергетический спектр электронов в квантово-размерных структурах: квантовые точки, ямы, нити, сверхрешетки.	3	4			3	4	1	10	Устный опрос
4	Распределение и транспорт носителей заряда в квантово-размерных структурах. Баллистический транспорт. Резонансное, спинзависящее туннелирование.	4	6			4	2			Устный опрос
5	Оптические	5	4			5	4	2	12	Устный

	свойства квантово-размерных структур.									опрос
6	Магнитные свойства нанослоевых композиций и фрактально-кластерных структур.	6	4			6	2	2	8	Устный опрос
7	Физика процессов переноса в неупорядоченных системах. Теория протекания.	7	2							Устный опрос
8	Перенос энергии и заряда в биоорганических наносистемах.	8	4							Устный опрос
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего		32				16		60	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 3

№	Тема	Краткое содержание
1	Кристаллофизика наносистем. Наноструктуры и методы их симметричного описания	Симметрия кристаллических структур. Классификация по типу решетки. Решетки Бравэ. Типы кристаллических упаковок. Колебания решетки. Наноструктуры и методы их симметричного описания
2	Квантовые размерные эффекты, масштабирование. Теория квантовых переходов. Обменное взаимодействие	Размерно-ограниченные структуры. Волновые функции электронов. Энергетический спектр электронов в квантово-размерных структурах: квантовые точки, ямы, нити, сверхрешетки
3	Энергетический спектр электронов в квантово-размерных структурах: квантовые точки, ямы, нити, сверхрешетки.	Структура энергетических зон в кристаллах. Обратное пространство. Энергетические зоны и щели в полупроводниках. Эффективная масса. Квантовые размерные эффекты, масштабирование.
4	Распределение и транспорт носителей заряда в квантово-размерных структурах. Баллистический транспорт. Резонансное, спинзависящее туннелирование.	Особенности электрической проводимости в наноструктурах. Распределение и транспорт носителей заряда в квантово-размерных структурах. Баллистический транспорт. Формула Лаудера. Резонансное, спинзависящее туннелирование.
5	Оптические свойства	Вероятности оптических переходов в размерно-

	квантово-размерных структур.	ограниченных структурах. Поглощение и излучение в структурах с размерным квантованием. Эффективность излучателей с размерным квантованием.
6	Магнитные свойства нанослоевых композиций и фрактально-кластерных структур.	Магнитные свойства нанослоевых композиций и фрактально-кластерных структур. Эффект гигантского магнитосопротивления в наноструктурах. Эффект Холла. Квантовый эффект Холла.
7	Физика процессов переноса в неупорядоченных системах. Теория протекания.	Распределение и транспорт носителей заряда в квантово-размерных структурах. МОП структуры. Полевые эффекты в наноструктурах.
8	Перенос энергии и заряда в биоорганических наносистемах.	Квантование энергии в размерно-ограниченных структурах. Уравнение Шредингера. Теория протекания. Биоорганические наноструктуры

4.3 Перечень лабораторных работ

Лабораторных работ не предусмотрено

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 3

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Устный опрос и решение задач	2
2	Устный опрос и решение задач	2
3	Устный опрос и решение задач	4
4	Устный опрос и решение задач	2
5	Устный опрос и решение задач	4
6	Устный опрос и решение задач	2

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 3

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Подготовка к зачёту	10
2	Подготовка к практическим занятиям	20
3	Проработка разделов теоретического материала	30

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: Дискуссии, компьютерные симуляции

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Семинары (практические занятия) представляют собой смысловой центр курса и выполняют сразу несколько функций. Общая логика каждого семинара представляет собой последовательное выяснение ряда вопросов, методик выполнения исследований, решение типовых задач, которые могут быть сформулированы еще на лекциях и предполагать уточнение и детализацию тех или иных высказанных на лекциях представлений. Соответственно, эффективность каждого семинара может быть достаточно объективно оценена как преподавателем, так и студентами – в зависимости от того, насколько полными и содержательными оказались решения поставленных проблем

5.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Самостоятельная работа студента может включать в себя подготовку рефератов, докладов, составление глоссария, создание электронных презентаций, самостоятельное изучение отдельных аспектов содержания дисциплины, проработку наиболее сложных тем. При этом изучение материала дисциплины происходит с использованием Интернет-ресурсов, информационных баз (Scopus и Web of Science), методических разработок, специальной учебной и научной литературы.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 3 | Устный опрос

Описание процедуры.

Описание процедуры:

Проведение устного опроса в форме «вопрос-ответ»

Критерии оценивания.

Критерии оценки:

ответ раскрыт полностью – 5 баллов

ответ раскрыт частично 2-4 баллов

имеет только общее представление о проблеме – 1 балл

не ответил – 0 баллов

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ПКР-2.1	Демонстрирует знание основных технологических приемов получения наноразмерных систем, в том числе наносистем на основе аллотропных форм углерода, демонстрирует знания	Устное собеседование по теоретическим вопросам на экзамене и

	проявления особых физико-химических свойств наноструктур, может объяснить эффекты размерного квантования и баллистического переноса заряда в наноструктурах	выполнение практических заданий.
--	---	----------------------------------

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 3, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

1. Корпускулярно-волновой дуализм и принцип Гейзенберга. Уравнение Шредингера. Распределение частиц по энергиям. Модель свободных электронов в твердых телах. Функция плотности состояний. (Дж.М.Мартинес-Дуарт, и др. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники" стр. 45-59).
2. Электроны в кристаллических твердых телах. Модель почти свободных электронов. Приближение сильной связи. Уравнения движения. Эффективная масса. Фононы. (Дж.М.Мартинес-Дуарт, и др. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники" стр. 60-80).
3. Энергетические зоны электронов в полупроводниках. Собственные и примесные полупроводники. Концентрация электронов и дырок в полупроводниках. (Дж.М.Мартинес-Дуарт, и др. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники" стр. 81-98).
4. Элементарные процессы переноса в полупроводниках. Подвижность зарядов. Диффузионная проводимость. (Дж.М.Мартинес-Дуарт, и др. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники" стр. 98-108).
5. Оптические свойства полупроводников. Межзонное поглощение. Экситонные эффекты. Спектр излучения. Стимулированное излучение. (Дж.М.Мартинес-Дуарт, и др. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники" стр. 108-125).
6. Физика полупроводников с пониженной размерностью. Квантовые ямы, квантовые проволоки, квантовые точки. Природа размерного квантования. (Дж.М.Мартинес-Дуарт, и др. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники" стр. 127-144).
7. Полупроводниковые квантовые наноструктуры и сверхрешетки. МОП транзисторы. Гетеропереходы. (Дж.М.Мартинес-Дуарт, и др. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники" стр. 160-170).
8. Процессы переноса в наноструктурах в электрических полях. Механизм рассеяния электронов. Квантовый перенос в наноструктурах. Квантовая проводимость. Кулоновская блокада. (Дж.М.Мартинес-Дуарт, и др. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники" стр. 192-228).
9. Перенос зарядов в магнитных полях. Воздействие магнитного поля на кристаллы. Поведение систем с пониженной размерностью в магнитных полях. Квантовый эффект Холла. (Дж.М.Мартинес-Дуарт, и др. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники" стр. 229-251).
10. Изолированные металлические наночастицы в диэлектрической среде. Диэлектрическая проницаемость среды в присутствии металлических наночастиц. Действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости. (Петров Ю.И. Кластеры и малые частицы. стр.287-290)
11. Поверхностный плазмонный резонанс металлических наночастиц в среде. Плазменные частоты. (Петров Ю.И. Кластеры и малые частицы стр. 287-291).
12. Поглощение света малыми частицами. Сечение поглощения. Зависимость положения

максимума поглощения от размера частиц. (Петров Ю.И. Кластеры и малые частицы стр. 292-297).

13. Одномерные, двумерные и трехмерные периодические структуры. Фотонные кристаллы. Методы формирования периодических структур. Лучевая литография. Лазерные микрорезонаторы. (Пул и Оуэнс , разд 6.2.6).

14. Наноструктурированные объемные материалы. Методы получения. Механические и электрические свойства. Пористый кремний. (Пул и Оуэнс , разд 6.1).

15. Нангоструктурированные кристаллы. Природные нанокристаллы. Упорядоченные структуры в цеолитах. Наноструктурированные кристаллы для фотоники. (Пул и Оуэнс , разд 6.2.)

16. Ферромагнетизм в наноструктурах. Влияние объемного наноструктурирования на магнитные свойства. Гигантское магнитосопротивление. Магнитные жидкости. (Пул и Оуэнс , разд 7).

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
Правильный ответ на теоретический вопрос	неправильный ответ на теоретический вопрос

7 Основная учебная литература

1. Пул Ч. Нанотехнологии : учеб. пособие по направлению подгот. "Нанотехнологии" / Ч. Пул - мл., Ф. Оуэнс, 2006. - 334.

2. Суздаев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И. П. Суздаев, 2009. - 589.

3. Рамбиди Н. Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н. Г. Рамбиди, А. В. Березкин, 2009. - 454.

4. Старостин В. В. Материалы и методы нанотехнологии : учебное пособие для вузов по направлению "Нанотехнология" / В. В. Старостин, 2010. - 431.

5. Лозовский В. Н. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность : учебное пособие / В. Н. Лозовский, С. В. Лозовский, 2019. - 332.

6. Наноматериалы и нанотехнологии : учебник для вузов / Е. И. Пряхин [и др.], 2020. - 372.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Мартинес-Дуарт Дж. М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники : [учебное пособие] / Дж. М. Мартинес-Дуарт, Р. Дж. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Руеда, 2007. - 367.

2. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев, 2007. - 414.

3. Основы прикладной нанотехнологии : монография / А. А. Абрамян [и др.], 2007. - 197.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>

2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Лицензионное программное обеспечение Системное программное обеспечение
2. Лицензионное программное обеспечение Пакет прикладных офисных программ
3. Лицензионное программное обеспечение Интернет-браузер

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Учебная аудитория для проведения лекционных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: комплект учебной мебели, рабочее место преподавателя, доска. Мультимедийное оборудование (в том числе переносное): мультимедийный проектор, экран, акустическая система, компьютер с выходом в интернет.
2. Учебная аудитория для проведения лабораторных/практических (семинарских) занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: комплект учебной мебели, рабочее место преподавателя, доска. Мультимедийное оборудование (в том числе переносное): мультимедийный проектор, экран, акустическая система, компьютер с выходом в интернет.