

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Наумова Наталия Александровна

Должность: Ректор

Дата подписания: 13.08.2026 10:49:56

Уникальный идентификатор документа: 6b5279da4e034bffa679172803da5b7550c894d

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ»
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ)

Физико-математический факультет
Кафедра фундаментальной физики и нанотехнологии

Согласовано
деканом физико-математического факультета
«18» марта 2026 г.

/Кулешова Ю.Д./

Рабочая программа дисциплины

Физика низкоразмерных систем

Направление подготовки
03.03.02 Физика

Профиль:
Фундаментальная физика и нанотехнологии

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Согласовано учебно-методической комиссией
физико-математического факультета
Протокол «18» марта 2026 г. № 8
Председатель УМКом _____

/Кулешова Ю.Д./

Рекомендовано кафедрой фундаментальной
физики и нанотехнологии
Протокол от «17» февраля 2026 г. № 12
Зав. кафедрой _____

/Холина С.А./

Москва
2026

Автор-составитель:
Курилов Александр Дмитриевич, кандидат физико-математических наук

Рабочая программа дисциплины «Физика низкоразмерных систем» составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 07.08.2020 г. № 891.

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)», и является элективной дисциплиной.

Год начала подготовки (по учебному плану) 2026

СОДЕРЖАНИЕ

1. Планируемые результаты обучения	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	4
3. Объем и содержание дисциплины	5
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся	7
5. Фонд оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации по дисциплине	7
6. Учебно-методическое и ресурсное обеспечение дисциплины	12
7. Методические указания по освоению дисциплины	12
8. Информационные технологии для осуществления образовательного процесса по дисциплине	13
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины	13

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

1.1. Цель и задачи дисциплины

Цель освоения дисциплины «Физика низкоразмерных систем»: формирование у обучающихся систематических знаний о физических принципах, фундаментальных свойствах и методах описания низкоразмерных систем (2D, 1D, 0D), а также развитие навыков применения современных теоретических и экспериментальных подходов для анализа размерных эффектов, квантового ограничения и транспортных явлений в наноструктурах.

Задачи дисциплины:

- изучить основные типы низкоразмерных систем (двумерные электронные газы, квантовые ямы, нити и точки), их реализацию в реальных материалах и методы получения;
- освоить квантовомеханические подходы к описанию энергетического спектра носителей заряда в условиях размерного квантования (модель «частица в ящике», метод огибающей функции, приближение эффективной массы);
- сформировать представления о влиянии размерности на электронные, оптические, магнитные и транспортные свойства материалов (эффект Холла в 2D-системах, квантовая проводимость, одномерная локализация, кулоновская блокада);
- ознакомить с современными экспериментальными методами исследования низкоразмерных структур (сканирующая туннельная спектроскопия, магнитотранспортные измерения, оптическая спектроскопия наноструктур);
- развить навыки самостоятельного анализа научной литературы, моделирования простых низкоразмерных систем и интерпретации экспериментальных данных;
- подготовить базу для дальнейшего изучения специализированных курсов и выполнения научно-исследовательских работ в области физики конденсированного состояния.

1.2. Планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины «Физика низкоразмерных систем» у обучающихся формируются следующие компетенции:

ДПК-1 Способен понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования исследований в области физики.

ДПК-2. Способен освоить современные концепции, теории, законы и методы в области физики, математики и информатики, овладеть основными методами решения задач, сформулированными в рамках данных предметных областей, и применить их в профессиональной деятельности

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)», и является элективной дисциплиной.

Для освоения дисциплины «Физика низкоразмерных систем» используются знания, умения и виды деятельности, сформированные в процессе изучения следующих дисциплин: «Введение в общую физику», «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Атомная физика», «Математический анализ», «Линейная алгебра» и «Аналитическая геометрия».

Компетенции, знания, навыки и умения, полученные в ходе изучения дисциплины, должны всесторонне использоваться и развиваться студентами в процессе последующей профессиональной деятельности.

Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины, дадут возможность студентам осваивать такие дисциплины учебного плана, как «Физика конденсированного состояния», «Статистическая физика», «Физическая кинетика», «Физическая электроника» и «Астрофизика».

Изучение дисциплины «Избранные вопросы теоретической физики» является базой для дальнейшего обучения в бакалавриате, при прохождении практики и в профессиональной деятельности.

3. ОБЪЁМ И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Объём дисциплины

Показатель объёма дисциплины	Форма обучения
	Очная
Объём дисциплины в зачётных единицах	4
Объём дисциплины в часах	144
Контактная работа:	90,2
Лекции	30
Лабораторные занятия	60
Контактные часы на промежуточную аттестацию:	0,2
Зачёт	0,2
Самостоятельная работа	46
Контроль	7,8

Формой промежуточной аттестации являются: зачёт в 8 семестре.

3.2. Содержание дисциплины

Наименование разделов (тем) дисциплины с кратким содержанием	Количество часов	
	Лекции	Лаборатор- ные занятия
		Общее кол-во
Тема 1. Введение в физику низкоразмерных систем Определение низкоразмерных систем (2D, 1D, 0D). Критерии размерного квантования. Масштабы: фермиевская длина волны, длина когерентности. Примеры реализаций: гетероструктуры, графен, нанотрубки, квантовые точки. Исторический обзор и современное состояние.	3	0
Тема 2. Методы получения низкоразмерных систем Эпитаксия (МОС-гидридная, молекулярно-лучевая). Лито графия (электронная, наноимпринтная). Химическое осаждение из паровой фазы (CVD). Методы отщепления (графен, слоистые материалы). Самоорганизация квантовых точек.	3	8
Тема 3. Квантовое ограничение в двумерных системах Квантовая яма: модель частицы в потенциальной яме конечной глубины. Энергетические уровни, огибающая волновая функция. Плотность состояний в 2D. Эффективная масса, g-фактор. Влияние электрического и магнитного полей.	2	0
Тема 4. Электронные свойства двумерных систем Двумерный электронный газ (2DEG) в гетероструктурах. Подвижность, время релаксации. Эффект Шубникова – де Гааза. Квантовый эффект Холла (целочисленный, дробный). Спин-орбитальное взаимодействие.	2	0
Тема 5. Квантовые проволоки (1D системы) Одномерное квантование, моды проводимости. Квантование проводимости в баллистическом режиме (квант сопротивления). Локализация в 1D. Углеродные нанотрубки: электронная структура, металлические и полупроводниковые трубки.	2	0
Тема 6. Квантовые точки (0D системы) Энергетический спектр квантовых точек: модель гармонического осциллятора, кулоновская блокада. Эффект кулоновской лестницы. Квантовые точки в оптике: кросс-люминесценция и внутризонная люминесценция.	2	8

Тема 7. Магнитные и спиновые явления в низкоразмерных системах Спинтроника: спиновый транспорт, спиновая поляризация. Квантовые точки с магнитными примесями. Спиновый эффект Холла. Магнитные наноструктуры (мультислои, магнитные туннельные переходы).	2	8
Тема 8. Оптические свойства низкоразмерных систем Межподзонные и экситонные переходы. Экситоны в квантовых ямах. Фотолюминесценция квантовых точек. Плазмонные эффекты в наноструктурах.	2	8
Тема 9. Графен и другие двумерные материалы Электронная структура графена, уравнение Дирака. Топологические изоляторы. Слоистые материалы (дихалькогениды переходных металлов, фосфорен, гексагональный нитрид бора). Гетероструктуры на их основе.	2	0
Тема 10. Транспорт в низкоразмерных системах при низких температурах Баллистический транспорт, локализация. Эффект слабой локализации. Универсальные флуктуации проводимости. Кулоновская блокада в одном электронном транзисторе.	2	0
Тема 11. Современные методы исследования низкоразмерных систем Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия (СТМ/СТС). Атомно-силовая микроскопия (АСМ). Методы магнитотранспорта. Оптическая спектроскопия высокого разрешения.	2	16
Тема 12. Применения низкоразмерных систем Нанoeлектроника: полевые транзисторы на 2D-материалах, квантовые точечные контакты. Спинтронные устройства. Квантовые вычисления (кубиты на квантовых точках, топологические кубиты). Фотонные и оптоэлектронные приборы.	2	8
Тема 13. Топологические состояния и низкоразмерные системы Квантовый эффект Холла и его топологическая интерпретация. Топологические изоляторы (2D и 3D). Краевые состояния, защищённые симметрией. Майорановские фермионы.	2	0
Тема 14. Перспективные направления физики низкоразмерных систем Квантовые материалы с корреляционными эффектами (например, никелаты, рутенаты). Гибридные структуры. Управление топологическими фазами. Проблемы и вызовы для фундаментальной и прикладной науки.	2	4
Итого	30	60

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Темы для самостоятельного изучения	Изучаемые вопросы	Кол-во часов	Формы самостоятельной работы	Методические обеспечения	Формы отчетности
Тема 1. Введение в физику низкоразмерных систем	Определение низкоразмерных систем (2D, 1D, 0D). Критерии размерного квантования. Масштабы: фермиевская длина волны, длина	4	Подбор литературы (учебников, программ).	Учебники, журналы, сеть Интернет	Конспект, устный опрос

	когерентности. Примеры реализации: гетероструктуры, графен, нанотрубки, квантовые точки. Исторический обзор и современное состояние.		Работа в читальном зале университета		
Тема 2. Методы получения низкоразмерных систем	Эпитаксия (МОС-гидридная, молекулярно-лучевая). Литография (электронная, наноимпринтная). Химическое осаждение из паровой фазы (CVD). Методы отщепления (графен, слоистые материалы). Самоорганизация квантовых точек.	4	Подбор литературы (учебников, программ). Работа в читальном зале университета	Учебники, журналы,	Конспект, устный опрос
Тема 3. Квантовое ограничение в двумерных системах	Квантовая яма: модель частицы в потенциальной яме конечной глубины. Энергетические уровни, огибающая волновая функция. Плотность состояний в 2D. Эффективная масса, g-фактор. Влияние электрического и магнитного полей.	4	Подбор литературы (учебников, программ). Работа в читальном зале университета	сеть Интернет	Конспект, устный опрос
Тема 4. Электронные свойства двумерных систем	Двумерный электронный газ (2DEG) в гетероструктурах. Подвижность, время релаксации. Эффект Шубникова – де Гааза. Квантовый эффект Холла (целочисленный, дробный). Спин-орбитальное взаимодействие.	4	Подбор литературы (учебников, программ). Работа в читальном зале университета	Учебники, журналы,	Конспект, устный опрос
Тема 5. Квантовые проволоки (1D системы)	Одномерное квантование, моды проводимости. Квантование проводимости в баллистическом режиме (квант сопротивления). Локализация в 1D. Углеродные нанотрубки: электронная структура, металлические и полупроводниковые трубки.	4	Подбор литературы (учебников, программ). Работа в читальном зале университета	сеть Интернет	Конспект, устный опрос
Тема 6. Квантовые точки (0D системы)	Энергетический спектр квантовых точек: модель гармонического осциллятора, кулоновская блокада. Эффект кулоновской лестницы. Квантовые точки в оптике: кросс-люминесценция и внутризонная люминесценция.	4	Подбор литературы (учебников, программ). Работа в читальном зале университета	Учебники, журналы,	Конспект, устный опрос
Тема 7. Магнитные и спиновые явления в низкоразмерных системах	Спинтроника: спиновый транспорт, спиновая поляризация. Квантовые точки с магнитными примесями. Спиновый эффект Холла. Магнитные наноструктуры (мультислои, магнитные туннельные переходы).	4	Подбор литературы (учебников, программ). Работа в читальном зале университета	сеть Интернет	Конспект, устный опрос

Тема 8. Оптические свойства низкоразмерных систем	Межподзональные и экситонные переходы. Экситоны в квантовых ямах. Фотолюминесценция квантовых точек. Плазмонные эффекты в наноструктурах.	4	Подбор литературы (учебников, программ). Работа в читальном зале университета	Учебники, журналы,	Конспект, устный опрос
Тема 9. Графен и другие двумерные материалы	Электронная структура графена, уравнение Дирака. Топологические изоляторы. Слоистые материалы (дихалькогениды переходных металлов, фосфорен, гексагональный нитрид бора). Гетероструктуры на их основе.	4	Подбор литературы (учебников, программ). Работа в читальном зале университета	Учебники, журналы,	Конспект, устный опрос
Тема 10. Транспорт в низкоразмерных системах при низких температурах	Баллистический транспорт, локализация. Эффект слабой локализации. Универсальные флуктуации проводимости. Кулоновская блокада в одноэлектронном транзисторе.	2	Подбор литературы (учебников, программ). Работа в читальном зале университета	Учебники, журналы,	Конспект, устный опрос
Тема 11. Современные методы исследования низкоразмерных систем	Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия (СТМ/СТС). Атомно-силовая микроскопия (АСМ). Методы магнитотранспорта. Оптическая спектроскопия высокого разрешения.	2	Подбор литературы (учебников, программ). Работа в читальном зале университета	Учебники, журналы,	Конспект, устный опрос
Тема 12. Применение низкоразмерных систем	Нанoeлектроника: полевые транзисторы на 2D-материалах, квантовые точечные контакты. Спинтронные устройства. Квантовые вычисления (кубиты на квантовых точках, топологические кубиты). Фотонные и оптоэлектронные приборы.	2	Подбор литературы (учебников, программ). Работа в читальном зале университета	Учебники, журналы,	Конспект, устный опрос
Тема 13. Топологические состояния и низкоразмерные системы	Квантовый эффект Холла и его топологическая интерпретация. Топологические изоляторы (2D и 3D). Краевые состояния, защищенные симметрией. Майорановские фермионы.	2	Подбор литературы (учебников, программ). Работа в читальном зале университета	Учебники, журналы,	Конспект, устный опрос
Тема 14. Перспективные направления физики низкоразмерных систем	Квантовые материалы с корреляционными эффектами (например, никелаты, рутенаты). Гибридные структуры. Управление топологическими фазами. Проблемы и	2	Подбор литературы (учебников, программ).	Учебники, журналы,	Конспект, устный опрос

размерных систем	вызовы для фундаментальной и прикладной науки.		Работа в читальном зале университета		
Итого		46			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

5.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Код и наименование компетенции	Этапы формирования
ДПК-1 Способен понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования исследований в области физики.	1. Работа на учебных занятиях 2. Самостоятельная работа
ДПК-2. Способен освоить современные концепции, теории, законы и методы в области физики, математики и информатики, овладеть основными методами решения задач, сформулированными в рамках данных предметных областей, и применить их в профессиональной деятельности.	1. Работа на учебных занятиях 2. Самостоятельная работа

5.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Оцениваемые компетенции	Уровень сформированности	Этапы формирования	Описание показателей	Критерии оценивания	Шкала оценивания
ДПК-1	Пороговый	1. Работа на учебных занятиях 2. Самостоятельная работа	Знать: основные механизмы и методики поиска и синтеза информации. Уметь: самостоятельно определять основные методики постановки цели и способы ее достижения.	доклад, домашнее задание, конспект, опрос	Шкала оценивания домашнего задания, шкала оценивания доклада, шкала оценивая опроса, шкала оценивания доклада
	Продвинутый	1. Работа на учебных занятиях 2. Самостоятельная работа	Знать: основные механизмы и методики поиска и синтеза информации. Уметь: разрабатывать этапы решения поставленной задачи, выделяя ее основные составляющие; Владеть: навыками поиска информации с применением современных наиболее эффективных технологий.	доклад, домашнее задание, конспект, опрос	Шкала оценивания домашнего задания, шкала оценивания доклада, шкала оценивая опроса, шкала оценивания доклада

ДПК-2	Пороговый	1. Работа на учебных занятиях 2. Самостоятельная работа	Знать: основные модели задач в рамках дисциплины с учетом их границ применимости. Уметь: производить целенаправленный поиск образовательных и научных источников по тематике курсовых работ и выпускной квалификационной работы.	доклад, домашнее задание, конспект, опрос	Шкала оценивания домашнего задания, шкала оценивания доклада, шкала оценивая опроса, шкала оценивания доклада
	Продвинутый	1. Работа на учебных занятиях 2. Самостоятельная работа	Знать: основные модели задач в рамках дисциплины с учетом их границ применимости. Уметь: производить целенаправленный поиск образовательных и научных источников по тематике курсовых работ и выпускной квалификационной работы. Владеть: навыками самостоятельной работы с учебной литературой по фундаментальным разделам общей и теоретической физики; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых физических дисциплин; навыками решения базовых физических задач.	доклад, домашнее задание, конспект, опрос	Шкала оценивания домашнего задания, шкала оценивания доклада, шкала оценивая опроса, шкала оценивания доклада

Шкала оценивания написания доклада

Уровни оценивания	Критерии оценивания	Баллы
Высокий (отлично)	Если студент отобразил в докладе 71-90% выбранной темы.	8-10
Оптимальный (хорошо)	Если студент отобразил в докладе 51-70% выбранной темы	5-7
Удовлетворительный	Если студент отобразил в докладе 31-50% выбранной темы	2-4
Неудовлетворительный	Если студент отобразил в докладе 0-30% выбранной темы	0-1

Шкала оценивания домашнего задания

Уровни оценивания	Критерии оценивания	Баллы
Высокий (отлично)	Студент правильно выполнил 76 – 100% всех домашних заданий	8-10
Оптимальный (хорошо)	Студент правильно выполнил 51 – 75% всех домашних заданий	5-7
Удовлетворительный	Студент правильно выполнил 31 – 50% всех домашних заданий	2-4
Неудовлетворительный	Студент правильно выполнил 0 – 30% всех домашних заданий	0-1

Шкала оценивания опроса

Уровни оценивания	Критерии оценивания	Баллы
Высокий (отлично)	Если студент отразил в ответе 71-90% выбранной темы	8-10
Оптимальный (хорошо)	Если студент отразил в ответе 51-70% выбранной темы	5-7
Удовлетворительный	Если студент отразил в ответе 31-50% выбранной темы	2-4
Неудовлетворительный	Если студент отразил в ответе 0-30% выбранной темы	0-1

Шкала оценивания конспекта

Уровни оценивания	Критерии оценивания	Баллы
Высокий (отлично)	Если студент отобразил в конспекте 71-90% темы.	8-10
Оптимальный (хорошо)	Если студент отобразил в конспекте 51-70% темы	5-7
Удовлетворительный	Если студент отобразил в конспекте 31-50% темы	2-4
Неудовлетворительный	Если студент отобразил в конспекте 0-30% темы	0-1

5.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Перечень примерных тем конспекта

- 1) Тема 1. Введение в физику низкоразмерных систем
- 2) Тема 2. Методы получения низкоразмерных систем
- 3) Тема 3. Квантовое ограничение в двумерных системах
- 4) Тема 4. Электронные свойства двумерных систем
- 5) Тема 5. Квантовые проволоки (1D системы)
- 6) Тема 6. Квантовые точки (0D системы)
- 7) Тема 7. Магнитные и спиновые явления в низкоразмерных системах
- 8) Тема 8. Оптические свойства низкоразмерных систем
- 9) Тема 9. Графен и другие двумерные материалы
- 10) Тема 10. Транспорт в низкоразмерных системах при низких температурах
- 11) Тема 11. Современные методы исследования низкоразмерных систем
- 12) Тема 12. Применения низкоразмерных систем
- 13) Тема 13. Топологические состояния и низкоразмерные системы
- 14) Тема 14. Перспективные направления физики низкоразмерных систем

Перечень примерных заданий опроса

- 1) Определение низкоразмерных систем (2D, 1D, 0D).
- 2) Критерии размерного квантования.
- 3) Масштабы: фермиевская длина волны, длина когерентности.
- 4) Примеры реализаций: гетероструктуры, графен, нанотрубки, квантовые точки.
- 5) Исторический обзор и современное состояние.
- 6) Эпитаксия (МОС-гидридная, молекулярно-лучевая).
- 7) Лито графия (электронная, наноимпринтная).
- 8) Химическое осаждение из паровой фазы (CVD).
- 9) Методы отщепления (графен, слоистые материалы).
- 10) Самоорганизация квантовых точек.
- 11) Квантовая яма: модель частицы в потенциальной яме конечной глубины.
- 12) Энергетические уровни, огибающая волновая функция.
- 13) Плотность состояний в 2D.
- 14) Эффективная масса, g-фактор.
- 15) Влияние электрического и магнитного полей.
- 16) Двумерный электронный газ (2DEG) в гетероструктурах.
- 17) Подвижность, время релаксации.

- 18) Эффект Шубникова – де Гааза.
- 19) Квантовый эффект Холла (целочисленный, дробный).
- 20) Спин-орбитальное взаимодействие.
- 21) Одномерное квантование, моды проводимости.
- 22) Квантование проводимости в баллистическом режиме (квант сопротивления).
- 23) Локализация в 1D.
- 24) Углеродные нанотрубки: электронная структура, металлические и полупроводниковые трубки.
- 25) Энергетический спектр квантовых точек: модель гармонического осциллятора, кулоновская блокада.
- 26) Эффект кулоновской лестницы.
- 27) Квантовые точки в оптике: кросс-люминесценция и внутризонная люминесценция.
- 28) Спинтроника: спиновый транспорт, спиновая поляризация.
- 29) Квантовые точки с магнитными примесями.
- 30) Спиновый эффект Холла.
- 31) Магнитные наноструктуры (мультислои, магнитные туннельные переходы).
- 32) Межподзонные и экситонные переходы.
- 33) Экситоны в квантовых ямах.
- 34) Фотoluminesценция квантовых точек.
- 35) Плазмонные эффекты в наноструктурах.
- 36) Электронная структура графена, уравнение Дирака.
- 37) Топологические изоляторы.
- 38) Слоистые материалы (дихалькогениды переходных металлов, фосфорен, гексагональный нитрид бора).
- 39) Гетероструктуры на их основе.
- 40) Баллистический транспорт, локализация.
- 41) Эффект слабой локализации.
- 42) Универсальные флуктуации проводимости.
- 43) Кулоновская блокада в одном электронном транзисторе.
- 44) Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия (СТМ/СТС).
- 45) Атомно-силовая микроскопия (АСМ).
- 46) Методы магнитотранспорта.
- 47) Оптическая спектроскопия высокого разрешения.
- 48) Нанoeлектроника: полевые транзисторы на 2D-материалах, квантовые точечные контакты.
- 49) Спинтронные устройства.
- 50) Квантовые вычисления (кубиты на квантовых точках, топологические кубиты).
- 51) Фотонные и оптоэлектронные приборы.
- 52) Квантовый эффект Холла и его топологическая интерпретация.
- 53) Топологические изоляторы (2D и 3D).
- 54) Краевые состояния, защищенные симметрией.
- 55) Майорановские фермионы.
- 56) Квантовые материалы с корреляционными эффектами (например, никелаты, рутенаты).
- 57) Гибридные структуры.
- 58) Управление топологическими фазами.
- 59) Проблемы и вызовы для фундаментальной и прикладной науки.

Примеры домашних заданий

1. Рассчитайте энергию основного и первого возбужденного состояний электрона в квантовой яме шириной $a = 5$ нм с бесконечно высокими стенками. Определите длину волны излучения, соответствующую переходу между этими уровнями. Как изменится энергия перехода, если эффективная масса электрона в материале ямы составляет $0,067m$ (GaAs)?

2. Постройте графики плотности состояний для 3D, 2D, 1D и 0D систем (качественно). Объясните, почему в 2D-системе плотность состояний является ступенчатой функцией, а в 1D – имеет особенности типа $1/E^{0.5}$. Рассчитайте первую ступень плотности состояний для двумерного электронного газа в AlGaAs/GaAs гетероструктуре, где эффективная масса $m^* = 0,067m_0$.
3. Для одномерной квантовой проволоки длиной $L = 1$ мкм, соединённой с двумя резервуарами, рассчитайте величину кванта проводимости. При каком числе заполненных мод проводимость достигнет $3 \times (2e^2/h)$? Оцените минимальную ширину проволоки, при которой будет наблюдаться квантование проводимости (фермиевская длина волны $\lambda_F = 50$ нм).
4. Квантовая точка ёмкостью $C = 10^{-17}$ Ф подключена к источнику напряжения через туннельные барьеры. Оцените величину кулоновской энергии зарядки $E_c = e^2/2C$. При каком напряжении на затворе произойдёт изменение числа электронов в точке на единицу? Температура эксперимента $T = 1$ К. Будет ли наблюдаться эффект кулоновской блокады при этой температуре?
5. Выведите дисперсионное соотношение для носителей заряда вблизи К-точки зоны Бриллюэна графена: $E(k) = \pm \hbar v_F |k|$. Оцените скорость Ферми v_F и энергию Ферми при концентрации носителей $n = 10^{12}$ см $^{-2}$. Постройте график плотности состояний для графена.

Примерные темы докладов

1. Размерное квантование.
2. Эффект Холла в двумерных системах.
3. Топологические изоляторы.
4. Майорановские фермионы в нанопроволоках.
5. Спинтроника на основе низкоразмерных систем.
6. Графен и другие 2D-материалы.
7. Электронные свойства углеродных нанотрубок.
8. Оптические и электронные свойства квантовых точек.
9. 2D гетероструктуры AlGaAs/GaAs.
10. Дихалькогениды переходных металлов (TMDC).
11. Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия для изучения низкоразмерных систем.
12. Магнитотранспортные методы определения параметров двумерного электронного газа.
13. Квантовые вычисления на основе квантовых точек и топологических состояний.
14. Фотолюминесцентная спектроскопия низкоразмерных полупроводников.
15. Применение низкоразмерных систем в сенсорики и фотовольтаике.

Примерные вопросы к зачёту

1. Определение низкоразмерных систем. Критерии размерного квантования.
2. Понятие эффективной массы. Её роль в квантово-размерных структурах.
3. Плотность состояний в 3D, 2D, 1D и 0D системах.
4. Квантовая яма с бесконечными стенками: уровни энергии, волновые функции.
5. Двумерный электронный газ в гетероструктурах. Факторы, ограничивающие подвижность.
6. Эффект Шубникова – де Гааза.
7. Квантовый эффект Холла. Роль беспорядка.
8. Квантование проводимости в квантовых проволоках. Квант сопротивления.
9. Локализация в одномерных системах (теория Андерсона).
10. Электронная структура углеродных нанотрубок (металлические/полупроводниковые).
11. Кулоновская блокада, кулоновская лестница.
12. Энергетический спектр квантовых точек.
13. Экситоны в квантовых ямах.
14. Фотолюминесценция квантовых точек.
15. Спин-орбитальное взаимодействие в низкоразмерных системах (Рашба, Дрессельхауз).

16. Спиновый эффект Холла. Применения в спинтронике.
17. Графен. Электронная структура, уравнение Дирака, особенности транспорта.
18. Дихалькогениды переходных металлов (MoS_2 , WS_2).
19. Топологические изоляторы.
20. Квантовый эффект Холла как топологическое явление.
21. Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия: принцип, разрешение.
22. Методы магнитотранспорта для определения концентрации, подвижности, эффективной массы.
23. Оптическая спектроскопия низкоразмерных структур.
24. Применение низкоразмерных систем в нанoeлектронике (полевые транзисторы, квантовые точки).
25. Квантовые вычисления.

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

Оценивание степени освоения обучающимися дисциплины осуществляется на основе «Положение о балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости студентов ГУП».

Сопоставимость рейтинговых показателей студента по разным дисциплинам и балльно-рейтинговой системы оценки успеваемости студентов обеспечивается принятием единого механизма оценки знаний студентов, выраженного в баллах, согласно которому 100 баллов – это полное усвоение знаний по учебной дисциплине, соответствующее требованиям учебной программы.

Максимальный результат, который может быть достигнут студентом по каждому из Блоков рейтинговой оценки – 100 баллов.

В зачетно-экзаменационную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по пяти-балльной шкале и рейтинговые оценки в баллах.

При получении студентом на зачёте неудовлетворительной оценки в ведомость выставляется рейтинговая оценка в баллах (меньше 40 баллов), соответствующая фактическим знаниям (ответу) студента.

Критерии оценки знаний студентов в рамках каждой учебной дисциплины или групп дисциплин вырабатываются преподавателями согласованно на кафедрах университета исходя из требований образовательных стандартов.

Требования к зачёту

Для допуска к зачёту нужно выполнить все домашние задания, пройти все опросы, тестирование, и защитить одну курсовую работу по выбору студента. На зачёте студент должен ответить на два теоретических вопроса.

Итоговая оценка «зачёт» или «незачёт» складывается из оценок за опросы, за домашние задания, за тестирования, а также за зачёт с оценкой не менее «удовлетворительно». максимальный итоговый балл – 100 баллов.

Шкала оценивания зачёта.

Критерии оценивания	Баллы
Свободное владение основными терминами и понятиями курса; последовательное и логичное изложение материала курса; законченные выводы и обобщения по теме вопросов; исчерпывающие ответы на вопросы при сдаче зачета. Полностью выполнены и защищены лабораторные работы.	15-20
Знание основных терминов и понятий курса; последовательное изложение материала курса; умение формулировать некоторые обобщения по теме вопросов; достаточно полные ответы на вопросы при сдаче зачета. Полностью выполнены и защищены лабораторные работы.	10-14

Критерии оценивания	Баллы
Удовлетворительное знание основных терминов и понятий курса; удовлетворительное знание и владение методами и средствами решения задач; недостаточно последовательное изложение материала курса; умение формулировать отдельные выводы и обобщения по теме вопросов. Выполнено и защищено не менее 75 % лабораторных работ.	5-9
Ответ, не соответствующий вышеуказанным критериям выставления оценок.	0-4

Итоговая шкала оценивания результатов освоения дисциплины

Итоговая оценка по дисциплине выставляется по приведенной ниже шкале. При выставлении итоговой оценки преподавателем учитывается работа обучающегося в течение освоения дисциплины, а также оценка по промежуточной аттестации.

Количество баллов	Оценка по традиционной шкале
81-100	Зачтено
61-80	Зачтено
41-60	Зачтено
0-40	Не зачтено

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Основная литература

1. Абрикосов А.А. Основы теории металлов : учебное руководство. – М. : Физматлит, 2010. – 600 с.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела : Т. 1. – М. : Мир, 1979. – 400 с.
3. Гадиев Р.М. Физика низкоразмерных систем. – Уфа : Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, 2013. – 24 с.

6.2. Дополнительная литература

1. Андреев А.Ф. Физика квантовых жидкостей и кристаллов // Воспоминания о И. Я. Померанчуке. – М. : Наука, 1988. – С. 266–276.
2. Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. – М. : Физматлит, 2005. – 632 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика (нерелятивистская теория). – М. : Физматлит, 2004. – 800 с.
4. Castro Neto, A. H., Guinea, F., Peres, N. M., Novoselov, K. S., Geim, A. K. The electronic properties of graphene // Reviews of modern physics. – 2009. – V. 81. – No. 1. – p. 109-162.

6.3. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. SpringerLink <https://link.springer.com>
2. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>
3. Электронно-библиотечная система Лань <https://e.lanbook.com>
4. ООО «Электронное издательство Юрайт» <https://urait.ru>

7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям.
2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы по дисциплинам.
3. Методические рекомендации по написанию курсовой работы

8. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Лицензионное программное обеспечение:

Microsoft Windows
Microsoft Office
Kaspersky Endpoint Security

Информационные справочные системы:

Система ГАРАНТ
Система «КонсультантПлюс»

Профессиональные базы данных

fgosvo.ru – Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования

pravo.gov.ru - Официальный интернет-портал правовой информации

www.edu.ru – Федеральный портал Российское образование

Свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства

ОМС Плеер (для воспроизведения Электронных Учебных Модулей)

7-zip

Google Chrome

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает в себя:

- учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: комплект учебной мебели, доска, технические средства обучения (проектор подвесной, компьютер стационарный - моноблок);

- учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащенная оборудованием и техническими средствами обучения: Цифровые лаборатории: лаборатория атомно-силовой микроскопии, лаборатория рентгеноструктурного анализа. Лабораторные столы (1.10×0.75), Интерактивная доска, Подставка для проектора, Силовой щит с рубильником и автоматическими выключателями, Вентилятор в металлическом корпусе, Лабораторные шкафы школьные 2-секционные, Мультимедиа проектор Sanuo Pro, Компьютер, Сетевой фильтр, Аудиоколонки, Монитор, Электрический фильтр, Электрический удлинитель, Осциллограф, Милливольтметр, Стенд универсальный, Генератор сигналов низкочастотный, Источник питания универсальный, Амперметр универсальный, Вольтметр универсальный, Ваттметр универсальный, Фазометр универсальный, Стенд универсальный, Миллиамперметр универсальный, Вольтметр универсальный, Стенд универсальный (5 шт), Выпрямитель, Амперметр универсальный, Вольтметр универсальный (2 шт), Вольтметр универсальный цифровой, Рабочая модель трансформатора на подставке, Источник питания универсальный (3 шт), Вольтамперметр M2017, Вольтамперметр M2017, Вольтамперметр M2038, Вольтамперметр M2020, Вольтамперметр M1106, Вольтамперметр M1106, Вольтамперметр M2020, Панель для включения транзистора, биполярный транзистор. Панель для включения транзистора, транзистор. Лабораторная электрическая схема для изучения полупроводникового диода и стабилитрона. Список учебных таблиц и демонстрационных пособий: Порядок работы в лаборатории, Погрешности при физических измерениях, Фундаментальные физические константы, Греческий алфавит, Основные единицы СИ.

- помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой, подключенной к сети Интернет, обеспеченные доступом к электронной информационно-образовательной среде Университета. Персональные компьютеры с подключением к сети Интернет и обеспечением доступа к электронным библиотекам и в электронную информационно-образовательную среду Университета. Доска. Программное обеспечение: Лицензионное программное обеспечение: Зарубежное: Microsoft Windows, Microsoft Office Отечественное: Kaspersky Endpoint Security Свободно распространяемое программное обеспечение: Зарубежное: Google Chrome, 7-zip Отечественное: ОМС Плеер (для воспроизведения Электронных Учебных Модулей) Информационные справочные системы: система «КонсультантПлюс» Профессиональные

базы данных: fgosvo.ru pravo.gov.ru;

- помещение для самостоятельной работы для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, оснащенное компьютерной техникой, подключенной к сети Интернет, обеспечено доступом к электронно-образовательной среде Университета, Комплект учебной мебели, персональные компьютеры с подключением к сети Интернет и обеспечением доступа к электронным библиотекам и в электронную информационно-образовательную среду Университета, доска, проектор подвесной.