

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**
Институт физики

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института физики,
профессор

С.Б. Вениг

« 7 » _____ 2021 г.



Рабочая программа дисциплины
Физика квантово-размерных структур

Направление подготовки бакалавриата
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профиль подготовки бакалавриата
**«Микро- и наноэлектроника, диагностика
нано- и биомедицинских систем»**

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Саратов,
2021 г.

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Скрипаль Ал.В.		5.10.21
Председатель НМК	Скрипаль Ан.В.		5.10.21
Заведующий кафедрой	Скрипаль Ал.В.		5.10.21
Специалист Учебного управления			

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Физика квантово-размерных структур» является формирование у студентов комплекса профессиональных знаний и умений (владений) и усвоение материала в области физики квантово-размерных структур, основных свойств, присущих квантово-размерным структурам и физических явлений в квантово-размерных структурах, лежащих в основе работы приборов нанoeлектроники, приобретение студентами знаний и выработка навыков в исследованиях свойств квантово-размерных структур, приобретение студентами знаний в области создания современной элементной базы нанoeлектроники.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование и углубление знаний в теории физики квантово-размерных структур, о физических явлениях в квантово-размерных структурах и основных характеристиках приборов на их основе.
- формирование умений обеспечивать технологическую и конструктивную реализацию методов определения основных параметров квантово-размерных структур;
- овладение сведениями об основных тенденциях развития электронной компонентной базы.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Физика квантово-размерных структур» относится к обязательным дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений, блока Б 1 «Дисциплины (модули)» и изучается студентами очной формы обучения Института физики СГУ, проходящими подготовку по направлению 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» (профиль подготовки «Микро- и нанoeлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем» в течение 7 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания по физике, математике, химии, термодинамике, электродинамике сплошных сред, физике полупроводников, электронным свойствам кристаллов, квантовой теории твердого тела и подготавливает студентов к изучению в том же или в последующих семестрах таких дисциплин как «Микроэлектроника и нанoeлектроника», «Квантовая и оптическая электроника», «Технология материалов и структур электроники».

3. Результаты обучения по дисциплине

<p>ПК-3. Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований в области электроники и нанoeлектроники</p>	<p>1.1_Б. ПК-3. Проводит критический анализ современной научно-технической литературы и информационных ресурсов.</p> <p>2.1_Б. ПК-3. Проводит теоретические и экспериментальные исследования в области электроники и нанoeлектроники.</p> <p>3.1_Б. ПК-3. Обрабатывает и анализирует результаты теоретических и экспериментальных исследований в области электроники и нанoeлектроники.</p>	<p>Знать физические свойства систем с пониженной размерностью, методы их создания; особенности проявления квантовых эффектов в базовых элементах нанoeлектроники, их классификацию; методики проведения теоретических исследований параметров и характеристик элементов нанoeлектроники</p> <p>Уметь Проводить критический анализ научно-технической литературы; учитывать квантовые эффекты при описании физических процессов в элементах нанoeлектроники; применять методы расчёта параметров и характеристик приборов твердотельной и нанoeлектроники; проводить теоретическое описание основных электронных свойств низкоразмерных структур; решать конкретные задачи по проведению исследований характеристик твердотельных электронных приборов пониженной размерности</p> <p>Владеть методами квантово-механического описания элементов электроники и нанoeлектроники; сведениями об основных тенденциях развития электронной компонентной базы; методами обработки и анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований в области электроники и нанoeлектроники</p>
---	--	--

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лек	Лабораторные		Пр	СРС	
					Общая трудоемкость	Из них – практическая подготовка			
1.	Введение	7	1	2					Опрос
2.	Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности	7	2-4	2			2	8	Опрос
3.	Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр систем пониженной размерности	7	5-6	2			2	8	Опрос
4.	Квантовые состояния в системах пониженной размерности	7	7-9	4			4	10	Опрос
5.	Экранирование электрического поля в структурах пониженной размерности	7	10-11	2			2	8	Опрос. Реферат
6.	Оптические свойства квантово-размерных структур	7	12-14	2			4	10	Опрос. Контрольная работа
	Итого:	7		14	0	0	14	44	
	Промежуточная аттестация	7							Зачёт
	Общая			72					

	трудоемкость дисциплины				
--	-------------------------	--	--	--	--

Содержание дисциплины

- 1. Введение** в физику квантово-размерных структур.
- 2. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности**
 - 2.1. Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке
 - 2.2. Размерное квантование при надбарьерном пролете электронов
 - 2.3. Особенности движения частиц над потенциальной ямой
- 3. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр систем пониженной размерности**
 - 3.1. Энергетический спектр бесконечной и конечной прямоугольных потенциальных ям в однородном электрическом поле
 - 3.2. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр параболической потенциальной ямы
 - 3.3. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр туннельно-связанных квантовых ям
 - 3.4. Влияние однородного электрического поля на движение электронов через прямоугольный потенциальный барьер
- 4. Квантовые состояния в системах пониженной размерности**
 - 4.1. Распределение плотности состояний в двумерных системах (квантовых ямах).
 - 4.2. Положение уровня Ферми в двумерных системах
 - 4.3. Распределение плотности состояний в одномерных системах (квантовых проволоках)
 - 4.4. Распределение плотности состояний в нульмерных системах (квантовых точках)
 - 4.5. Энергетический спектр мелких примесных состояний в системах пониженной размерности
 - 4.6. Энергетический спектр экситонов Ванье-Мотта в квантово-размерных полупроводниковых кристаллах
- 5. Экранирование электрического поля в структурах пониженной размерности**
 - 5.1. Область пространственного заряда в квантово-размерных полупроводниковых кристаллах
 - 5.1.1. Экранирование электрического поля в двумерных системах (квантовых ямах): зависимость длины экранирования (области пространственного заряда) от положения уровня Ферми в зоне проводимости (от степени заполнения подзон зоны проводимости)
 - 5.1.2. Экранирование электрического поля в одномерных системах (квантовых проволоках): зависимость длины экранирования (области

пространственного заряда) от положения уровня Ферми в зоне проводимости (от степени заполнения подзон зоны проводимости)

6. Оптические свойства квантово-размерных структур

6.1. Спектры фундаментального поглощения квантово-размерных структур.

6.2. Применение квантово-размерных структур в оптоэлектронике

6.2.1. Бистабильные оптические элементы, экситонный механизм поглощения оптического излучения в квантово-размерных гетероструктурах и его использование в бистабильных оптических устройствах

6.2.2. Полупроводниковые лазеры на квантово-размерных структурах.

6.2.3. Фотоприемники ИК-диапазона на основе квантово-размерных структур.

6.2.4. структур.

Примерная тематика практических занятий (семинаров)

1. Размерное квантование при надбарьерном пролете электронов. Особенности движения частиц над потенциальной ямой.
2. Энергетический спектр бесконечной и конечной прямоугольных потенциальных ям в однородном электрическом поле.
3. Распределение плотности состояний в двумерных системах (квантовых ямах), в одномерных системах (квантовых проволоках), в нульмерных системах (квантовых точках)
4. Энергетический спектр мелких примесных состояний в системах пониженной размерности
5. Энергетический спектр экситонов Ванье-Мотта в квантово-размерных полупроводниковых кристаллах
6. Экранирование электрического поля в двумерных системах (квантовых ямах)
7. Экранирование электрического поля в одномерных системах (квантовых проволоках)
8. Спектры фундаментального поглощения квантово-размерных структур.
9. Бистабильные оптические элементы, экситонный механизм поглощения оптического излучения в квантово-размерных гетероструктурах и его использование в бистабильных оптических устройствах
10. Полупроводниковые лазеры на квантово-размерных структурах.
11. Фотоприемники ИК-диапазона на основе квантово-размерных структур.

5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

При реализации различных видов учебной работы (лекции, практические занятия, самостоятельная работа) используются следующие современные образовательные технологии:

- Исследовательские методы в обучении

- Проблемное обучение

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерные симуляции, разбор конкретных ситуаций, работа над проектами) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Использование интерактивных форм и методов обучения направлено на достижение ряда важнейших образовательных целей:

- стимулирование мотивации и интереса в осваиваемой предметной области;
- повышение уровня активности и самостоятельности обучаемых;
- развитие навыков анализа, критичности мышления, взаимодействия, коммуникации;
- саморазвитие и развитие обучаемых благодаря активизации мыслительной деятельности и диалогическому взаимодействию с преподавателем и другими участниками образовательного процесса.

При реализации программы дисциплины предусмотрены также встречи с представителями российских компаний.

Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- организация коллективных занятий в студенческих группах с целью оказания помощи в получении информации инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.
- использование индивидуальных графиков обучения
- использование дистанционных образовательных технологий

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

В преподавании дисциплины «Физика квантово-размерных структур» используются учебная и научно-исследовательская литература, Интернет сайты, сайт библиотеки Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского.

Предлагаются темы рефератов, вопросы для текущего контроля, промежуточной аттестации.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего периода освоения и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке практическим (семинарским) занятиям, в выполнении заданий преподавателя, работе в компьютерном классе или библиотеке, использовании интернет-технологий.

Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала разбирать вопросы, рассмотренные на каждом очередном занятии, до следующего, по непонятым деталям консультироваться у преподавателя, читать соответствующую литературу;

- при подготовке к практическим занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать литературу по теме занятия;

- задания, которые даются преподавателем во время занятий по отдельным вопросам, обязательны для выполнения, и качество их выполнения будет проверяться во время зачета.

Перечень заданий самостоятельной работы, предлагаемых студентам в ходе практических занятий:

1. Рассмотрите рассеяние частиц на потенциальной ступеньке
2. Рассмотрите размерное квантование при надбарьерном пролете электронов
3. Опишите энергетический спектр бесконечной и конечной прямоугольных потенциальных ям в однородном электрическом поле
4. Как влияет однородное электрическое поле на энергетический спектр параболической потенциальной ямы
5. Как влияет однородное электрическое поле на энергетический спектр туннельно-связанных квантовых ям
6. Как влияет однородное электрическое поле на движение электронов через прямоугольный потенциальный барьер
7. Рассмотрите распределение плотности состояний в двумерных системах (квантовых ямах). Чем определяется положение уровня Ферми в двумерных системах
8. Рассмотрите распределение плотности состояний в одномерных системах (квантовых проволоках)
9. Рассмотрите распределение плотности состояний в нульмерных системах (квантовых точках)
10. Чем определяется энергетический спектр мелких примесных состояний в системах пониженной размерности
11. Чем определяется энергетический спектр экситонов Ванье-Мотта в квантово-размерных полупроводниковых кристаллах

12. Как зависит длина экранирования (области пространственного заряда) от положения уровня Ферми в зоне проводимости (от степени заполнения подзон зоны проводимости) в двумерных системах (квантовых ямах)
13. Как зависит длина экранирования электрического поля (области пространственного заряда) от положения уровня Ферми в зоне проводимости (от степени заполнения подзон зоны проводимости) в одномерных системах (квантовых проволоках)
14. Опишите спектры фундаментального поглощения квантово-размерных структур.
15. Рассмотрите экситонный механизм поглощения оптического излучения в квантово-размерных гетероструктурах и его использование в бистабильных оптических устройствах.
16. Сформулируйте особенности полупроводниковых лазеров на квантово-размерных структурах.
17. Опишите фотоприемники ИК-диапазона на основе квантово-размерных структур.

При реализации программы дисциплины «Физика квантово-размерных структур» студентам предлагается подготовить реферат.

Примерный перечень предлагаемых тем рефератов:

1. Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке. Размерное квантование при надбарьерном пролете электронов. Особенности движения частиц над потенциальной ямой.
2. Энергетический спектр бесконечной и конечной прямоугольных потенциальных ям в однородном электрическом поле.
3. Распределение плотности состояний в двумерных системах (квантовых ямах), в одномерных системах (квантовых проволоках), в нульмерных системах (квантовых точках)
4. Энергетический спектр мелких примесных состояний в системах пониженной размерности
5. Энергетический спектр экситонов Ванье-Мотта в квантово-размерных полупроводниковых кристаллах
6. Экранирование электрического поля в двумерных системах (квантовых ямах)
7. Экранирование электрического поля в одномерных системах (квантовых проволоках)
8. Спектры фундаментального поглощения квантово-размерных структур.
9. Бистабильные оптические элементы, экситонный механизм поглощения оптического излучения в квантово-размерных гетероструктурах и его использование в бистабильных оптических устройствах
10. Полупроводниковые лазеры на квантово-размерных структурах.
11. Фотоприемники ИК-диапазона на основе квантово-размерных структур.

Рефераты выполняются под руководством преподавателя и должны содержать элементы литературного обзора по теме, анализа в соответствии с конкретной спецификой выбранной темы. Рефераты следует выполнять в течение всего семестра с периодическим обсуждением результатов с преподавателем.

В ходе освоения дисциплины в часы практических занятий студенты выполняют контрольную работу

Контрольная работа

Вариант А

Особенности спектров фундаментального поглощения квантово-размерных структур.

Вариант Б

Возможность создания бистабильных оптических устройств с использованием экситонного механизма поглощения.

Вариант В

Преимущества полупроводниковых лазеров на квантово-размерных структурах.

При подготовке к контрольной работе следует использовать материал прочитанных лекций, читать рекомендованную литературу.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета.

Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации

1. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности
2. Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке
3. Размерное квантование при надбарьерном пролете электронов
4. Особенности движения частиц над потенциальной ямой
5. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр систем пониженной размерности
6. Энергетический спектр бесконечной и конечной прямоугольных потенциальных ям в однородном электрическом поле
7. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр параболической потенциальной ямы
8. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр туннельно-связанных квантовых ям
9. Влияние однородного электрического поля на движение электронов через прямоугольный потенциальный барьер
10. Квантовые состояния в системах пониженной размерности

11. Распределение плотности состояний в двумерных системах (квантовых ямах).
12. Положение уровня Ферми в двумерных системах
13. Распределение плотности состояний в одномерных системах (квантовых проволоках)
14. Распределение плотности состояний в нульмерных системах (квантовых точках)
15. Энергетический спектр мелких примесных состояний в системах пониженной размерности
16. Энергетический спектр экситонов Ванье-Мотта в квантово-размерных полупроводниковых кристаллах
17. Экранирование электрического поля в структурах пониженной размерности
18. Область пространственного заряда в квантово-размерных полупроводниковых кристаллах
19. Экранирование электрического поля в двумерных системах (квантовых ямах): зависимость длины экранирования (области пространственного заряда) от положения уровня Ферми в зоне проводимости (от степени заполнения подзон зоны проводимости)
20. Экранирование электрического поля в одномерных системах (квантовых проволоках): зависимость длины экранирования (области пространственного заряда) от положения уровня Ферми в зоне проводимости (от степени заполнения подзон зоны проводимости)
21. Оптические свойства квантово-размерных структур
22. Спектры фундаментального поглощения квантово-размерных структур.
23. Применение квантово-размерных структур в оптоэлектронике
24. Бистабильные оптические элементы, экситонный механизм поглощения оптического излучения в квантово-размерных гетероструктурах и его использование в бистабильных оптических устройствах
25. Полупроводниковые лазеры на квантово-размерных структурах.
26. Фотоприемники ИК-диапазона на основе квантово-размерных структур.

7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
7	20	0	20	20	0	10	30	100

Программа оценивания учебной деятельности студента

7 семестр

Лекции

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр – от 0 до 20 баллов.

Лабораторные занятия

Не предусмотрены.

Практические занятия:

посещаемость, активность, умение выделить главную мысль – от 0 до 20 баллов

Самостоятельная работа

Выполнение заданий на самостоятельную работу от 0 до 20 баллов.

Автоматизированное тестирование

Не предусмотрено.

Другие виды учебной деятельности:

Реферат, научно-исследовательская и методическая деятельность по дисциплине, блиц-опрос, контрольный опрос - от 0 до 10 баллов

Промежуточная аттестация (зачёт)

Зачёт проводится в устной форме и предполагает ответ на 2 вопроса билета.
при проведении промежуточной аттестации
ответ на «зачтено» оценивается от 10 до 30 баллов;
ответ на «не зачтено» оценивается от 0 до 9 баллов;

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 7 семестр по дисциплине «Физика квантово-размерных структур» составляет 100 баллов.

Таблица 2.1 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Физика квантово-размерных структур» в оценку (зачет):

60 баллов и более	«зачтено»
менее 60 баллов	«не зачтено»

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) литература:

1. Многочастичные квантовые эффекты в физике твердого тела (экситон, квантовые эффекты Холла, сверхпроводимость): учеб. пособие / Д. А. Усанов, С. Г. Сучков ; Саратов. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2007. - 111 с. **Гриф УМО** (В ЗНБ СГУ 12 экз.)
2. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. – М. : Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. – 494 с. **Гриф УМО** (В ЗНБ СГУ 14 экз.)

3. Физика полупроводников: Явления переноса в структурах с туннельно-тонкими полупроводниковыми слоями / Д. А. Усанов, А. В. Скрипаль. - Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1996. - 233 с. (В ЗНБ СГУ 5 экз)
4. Нанoeлектроника: учеб. пособие / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. - Москва : БИНОМ. Лаб. знаний, 2009. – 223 с. (В ЗНБ СГУ 55 экз)
5. Нанoeлектроника. Теория и практика: учебник / В. Е. Борисенко [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 366 с. (В ЗНБ СГУ 11 экз)
6. Нанoeлектроника [**Электронный ресурс**] : учебное пособие / Троян П. Е. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010. - 88 с. - ЭБС IPRbooks. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/13949.html>
7. Нанoeлектроника. Элементы. Приборы. Устройства [**Электронный ресурс**] : учебное пособие / Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2015. - 408 с. - ЭБС «АЙБУКС». — URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/350199/reading>
8. Нанoeлектроника [**Электронный ресурс**] : учебное пособие / А. А. Шука. - 5-е изд. - Москва : Издательство "Лаборатория знаний", 2020. - 345 с. **Гриф УМО**. - ЭБС "ЛАНЬ". — URL: <https://e.lanbook.com/book/135510>
9. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр., доп. - М.: Техносфера, 2010. - 336 с. (в НБ СГУ 5 экз.)
10. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. - 2-е изд., испр. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 414 с. (в НБ СГУ 45 экз.)

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Windows XP Prof
2. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations
3. Microsoft Office профессиональный 2010
4. Единое окно доступа к образовательным ресурсам. – Режим доступа: <http://window.edu.ru>
5. Зональная научная библиотека им. В.А.Артисевич Саратовского государственного университета им.Н.Г.Чернышевского. – Режим доступа: <http://library.sgu.ru/>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Занятия по дисциплине «Физика квантово-размерных структур» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, измерительными приборами, лабораторным оборудованием, наглядными демонстрационными материалами, мультимедийными установками.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» с учётом профиля подготовки «Микро- и наноэлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем».

Автор
профессор, д.ф.-м.н. Скрипаль Ал.В.

Программа разработана в 2019 г. и одобрена на заседании кафедры физики твёрдого тела от 03 декабря 2019 года, протокол № 4.

Программа актуализирована в 2021г. и одобрена на заседании кафедры физики твёрдого тела от 05 октября 2021 года, протокол № 3.

Приложение

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Рекомендуемая литература:

1. Наноэлектроника [**Электронный ресурс**] : Учебное пособие / П. Н. Дробот. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2016. - 286 с. - ЭБС IPR BOOKS. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/72141.html>
2. Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников [**Электронный ресурс**] : учеб. пособие. – М. : Лань, 2016. - 624 с. **Гриф НМС МО РФ**. — ЭБС «ЛАНЬ». — URL: <https://e.lanbook.com/book/168898>
3. Физика твердого тела [**Электронный ресурс**] : учеб. пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. - Москва : Лань, 2021. - 224 с. – ЭБС «ЛАНЬ». — URL: <https://e.lanbook.com/book/167762>
4. Воробьев Л.Е., Ивченко Е.Л., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А. Оптические свойства наноструктур.- С.-Пб.: Наука, 2001.- 186 с. (В ЗНБ СГУ 12 экз.).
5. Физика малых частиц и наноструктурных материалов [**Электронный ресурс**]: учебное пособие / Стукова Е.В., Барышников С.В., Милинский А.Ю. –Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2010. - 152 с. – ЭБС «РУКОНТ». — URL: <https://lib.rucont.ru/efd/48198>
6. Датта С. Квантовый транспорт. От атома к транзистору [**Электронный ресурс**]: монография/ Датта С.— Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2009.— 532 с. — ЭБС «IPRbooks». . — URL: <https://www.iprbookshop.ru/16542.html>
7. Физика низкоразмерных систем : учеб. пособие для студентов вузов по направлению "Техн. физика" / А. Я. Шик [и др.] ; . - Санкт-Петербург : Наука, 2001. – 154 с. (В ЗНБ СГУ 12 экз)

8. Погосов В. В. Введение в физику зарядовых и размерных эффектов. Поверхность, кластеры, низкоразмерные системы: учеб. пособие. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 328 с. **Гриф УМО** (В ЗНБ СГУ 5 экз)
9. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. – М.: Логос, 2000. – 248 с. (В ЗНБ СГУ 5 экз)
10. Рамбиди Н. Г. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии современной нанотехнологии: учеб. пособие. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. – 375 с. (В ЗНБ СГУ 15 экз.)
11. Кравченко А. Ф., В. Н. Овсяк В. Н. Электронные процессы в твердотельных системах пониженной размерности . - Новосибирск : Изд-во Новосиб. ун-та, 2000. - 448 с. (в ЗНБ СГУ 2 экз.)