

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель ученого совета ФРТЭ

_____ В.А. Небольсин

«___» _____ 20__ г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДБ.5.2 «ФИЗИКА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР»

для направления подготовки (специальности)

28.03.02 «Наноинженерия»

(код, наименование)

Профиль подготовки (специализация)

«Инженерные нанотехнологии в приборостроении»

(название профиля, магистерской программы, специализации по УП)

Форма обучения: очная

Срок обучения: нормативный

Кафедра полупроводниковой электроники и наноэлектроники

(наименование кафедры-разработчика УМКД)

УМКД разработал: Липатов Г.И., кандидат технических наук

(Ф.И.О., ученая степень авторов разработки)

Рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии ФРТЭ

(наименование факультета)

Протокол № ____ от «__» _____ 20__ г.

Председатель методической комиссии _____ Е.Н. Корвин

Воронеж 2017 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВПО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель ученого совета ФРТЭ

_____ В.А. Небольсин

«____» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«ФИЗИКА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР»

Закреплена за кафедрой: полупроводниковой электроники и наноэлектроники (ППЭНЭ)

Направление подготовки (специальности): 28.03.02 «Наноинженерия»

Профиль: «Инженерные нанотехнологии в приборостроении»

Часов по УП: 144 / **Часов по РПД:** 144

Часов по УП (без учета на экзамены): 144/ **Часов по РПД:** 144

Часов на самостоятельную работу по УП: 72 (50 %)

Часов на самостоятельную работу по РПД: 72 (50 %)

Общая трудоемкость в ЗЕТ: 5

Виды контроля в семестрах (на курсах): Экзамены —; Зачеты 7; Курсовые проекты —;

Курсовые работы —.

Форма обучения: очная. **Срок обучения:** нормативный

Распределение часов дисциплины по семестрам

Вид занятия	№ семестров, число учебных недель в семестрах																	
	1/18		2/18		3/18		4/18		5/18		6/18		7/18		8/12		Итого	
	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД
Лекции													36	36			36	36
Лабораторные													18	18			18	18
Практические													18	18			18	18
Ауд. занятия													72	72			72	72
Сам. работа													72	72			72	72
Итого													144	144			144	144

Программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) — государственные требования к минимуму содержания и уровня подготовки бакалавра по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия». Утвержден приказом Министерства образования Российской Федерации от 3 декабря 2015 г. № 1414.

Программу составил канд. техн. наук, доцент

Г.И. Липатов

Рецензент: д-р техн. наук, профессор

С.А. Акулинин

Рабочая программа дисциплины составлена на основании учебного плана подготовки бакалавров по направлению 28.03.02 «Наноинженерия», профиль «Инженерные нанотехнологии в приборостроении».

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ППЭНЭ.

Протокол № ____ от « ____ » _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии ФРТЭ.

Протокол № ____ от « ____ » _____ 20__ г.

Председатель методической комиссии ФРТЭ

Е.Н. Коровин

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	Целью изучения дисциплины «Физика низкоразмерных структур» является формирование у обучающихся знаний о фундаментальных физических эффектах, имеющих место в наноструктурах и обусловленные их пониженной размерностью, и приборном моделировании устройств на их основе.
1.2	Для достижения цели ставятся задачи:
1.2.1	знать принципы функционирования и характеристики нанoeлектронных устройств на базе квантово-размерных структур;
1.2.2	уметь проводить приборное моделирование этих устройств.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Цикл (раздел) ОПОП: вариативная часть		Код дисциплины в УП: Б1.В.ДВ.5.2
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
	Б1. В.ОД.4 «Полупроводниковая электроника» Б1.В.ОД.8 «Физика конденсированного состояния» Б1.В.ДВ.2.1 «Спецглавы физики» Б1.В.ДВ.2.2 «Квантовая механика и статистическая физика»	
2.2	Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: Выпускная квалификационная работа	

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Код и наименование компетенции	
ОПК-1	способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять метод математического анализа и экспериментального исследования/

В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИЙСЯ ДОЛЖЕН

3.1	Знать: фундаментальные физические эффекты, имеющие место в наноструктурах и обусловленные их пониженной размерностью (ОПК-1); принципы функционирования и характеристики нанoeлектронных устройств на базе квантово-размерных структур (ОПК-1).
3.2	Уметь: проводить приборное моделирование этих структур (ОПК-1)
3.3	Владеть: методами экспериментального исследования наноструктур (ОПК-1)

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость в часах				
			Лекции	Практ. занятия	Лаб. работы	СРС	Всего часов
1	Электронная структура наномасштабных твердых тел	1—4	8	2	4	16	30
2	Размерное квантование и квантово-размерные структуры	5—12	16	10	8	32	66
3	Нанoeлектронные приборы на основе квантово-размерных структур	13—18	12	6	6	24	48
Итого часов:			36	18	18	72	144

4.1 Лекции

Неделя	Тема и содержание лекции	Объем
--------	--------------------------	-------

семестра		часов
1 Электронная структура наномасштабных твердых тел		
1	Электроны как квантовые частицы	2
2	Электроны в изолированном атоме	2
3	Квантовые ямы, проволоки, точки. Плотность состояний	2
4	Транспорт носителей заряда в низкоразмерных структурах	2
2 Размерное квантование и квантово-размерные структуры		
5	Принцип размерного квантования. Условия наблюдения квантовых эффектов	2
6	Типы низкоразмерных структур. Структуры с образованием электронного газа пониженной размерности. Структуры с квантовым ограничением за счет потенциала — внутреннего или внешнего электрического поля	2
7	Квантово-механическое описание квантово-размерных структур. Частица в прямоугольной потенциальной яме конечной глубины	2
8	Квантово-механическое описание квантово-размерных структур. Энергетические состояния в прямоугольной потенциальной яме сложной формы	2
9	Квантово-механическое описание квантово-размерных структур. Энергетические состояния в симметричных треугольной и трапециевидальной потенциальных ямах	2
10	Особенности движения частиц над потенциальным рельефом	2
11	Движение частиц в двухбарьерных квантовых структурах	2
12	Свехрешетки	2
3 Нанoeлектронные приборы на основе квантово-размерных структур		
13, 14	Резонансно-туннельные приборы	4
15	Одноэлектронные приборы	2
16	Спинтронные приборы	2
17	Электронные свойства наноматериалов	2
18	Нанопотоника	2
Итого часов:		36

4.2 Практические занятия

Неделя семестра	Тема практического занятия	Объем часов	Виды контроля
1, 2	Низкоразмерные структуры	2	Результаты выполнения задания
3, 4	Квантовые ямы	2	
5, 6	Гетеропереходы	2	
7, 8	Проводимость низкоразмерных структур	2	
9, 10	Резонансное туннелирование	2	
11, 12	Одноэлектронное туннелирование	2	
13, 14	Спин-контролируемое туннелирование	2	
15, 16	Кинетические эффекты в двумерных системах	2	
17, 18	Гигантское магнитосопротивление	2	
Итого часов:		18	

4.3 Лабораторные работы

Неделя семестра	Наименование лабораторной работы	Объем часов	Виды контроля
1—4	Моделирование свойств структур, ограничивающих движение электрона	4	Проверка отчета по лабораторной работе
5—8	Изучение свойств одномерных структур	4	
9—12	Изучение физических свойств сверхрешеток	4	
13—18	Исследование резонансно-туннельного диода	6	

Итого часов:	18
---------------------	-----------

4.4 Самостоятельная работа студента (СРС)

Неделя семестра	Содержание СРС	Виды контроля	Объем часов
1—18	Проработка материала лекций с использованием рекомендуемой литературы	Опрос	24
2—18	Подготовка к практическим занятием и выполнение домашних заданий	Результаты выполнения заданий	18
2—18	Подготовка к лабораторным работам	Ответы на контрольные вопросы	18
6, 12	Подготовка к контрольной работе	Результаты выполнения задания	4
18	Подготовка к зачету	зачет	8
Итого часов:			72

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:	
5.1	Лекции
5.2	Лабораторные работы
5.3	Практические занятия
5.4	Самостоятельная работа
5.5	Консультации по всем вопросам учебной программы

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

6.1	Контрольные вопросы и задания
6.1.1	Для текущего контроля успеваемости используются контрольные вопросы, помещенные в конце каждой лабораторной работы, и практические занятия
6.2	Темы письменных работ не предусмотрены
6.3	Другие виды контроля не предусмотрены

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы/составители	Заглавие	Вид и годы издания	Обеспеченность
7.1.1 Основная литература				
ЛП.1	Борисенко В.Е., Воробьева А.И., Данилюк А.Л., Уткина Е.А.	Нанoeлектроника: теория и практика. — М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 366 с.	Учебник, 2013	1
ЛП.2	Борисенко В.Е., Воробьева А.И., Уткина Е.А.	Нанoeлектроника. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. — 223 с.	Учеб. пособие, 2009	1
ЛП.3	Шишкин Г.Г., Агеев И.М.	Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. — 408 с.	Учеб. пособие, 2011	0,3
ЛП.4	Драгунов В.П., Неизвестный И. Г., Гридчин В.А.	Основы нанoeлектроники. — М.: Логос, 2006. — 494 с.	Учеб. пособие, 2006	0,1
ЛП.5	Зебрев Г.И.	Физические основы кремниевой нанoeлектроники. — М.: Техносфера,	Учеб. пособие, 2017	1

		2017.		
Л1.5	Смирнов Ю.А., Соколов С.В., Титов Е.В.	Основы нано- и функциональной электроники. — СПб.: Лань, 2013. — 320 с.	Учеб. пособие, 2012	1
Л1.6	Демиховский В.Я., Вугальтер В.Я.	Физика квантовых низкоразмерных структур. — М.: Логос, 2000. — 248 с.	Учеб. пособие, 2000	
7.1.2 Дополнительная литература				
Л2.1	Ибрагимов И.М., Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф.	Основы компьютерного моделирования наносистем. — СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2010. — 384 с.	Учеб. пособие, 2010	0,5
Л2.3	Келсалл Р., Хэмли А.	Научные основы нанотехнологий и новых приборов. — Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2011. — 528 с.	Учеб.-монограф., 2011	0,1
Л2.4	Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А.	Физика низкоразмерных систем. — СПб.: Наука, 2001. — 160 с.	Учеб. пособие, 2001	
7.1.3 Методические разработки				
				1
7.1.4 Программное обеспечение и Интернет-ресурсы				
1	Система физико-топологического моделирования Sentaurus TCAD			
2	www.labfor.ru . Учебный лабораторный стенд LESO 2.1. Паспорт и Инструкция по эксплуатации. Новосибирск. 2009.			

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1	Учебный компьютерный класс, оснащенный компьютерными программами для выполнения расчетов, и рабочими местами для самостоятельной подготовки обучающихся с выходом в Интернет
8.2	Контрольно-измерительное оборудование — учебные лабораторные стенды LESO 2.1 (Лаборатория электронных средств обучения, ЛЭСО, ГОУ ВПО «СибГУТИ»)

9. СТРУКТУРА И СОСТАВ ФОНДОВ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фонды оценочных средств по дисциплине представляют собой: перечень вопросов для рейтинговых и контрольных мероприятий.

Перечень вопросов для рейтинговых и контрольных мероприятий

1. В чём выражаются компромиссы миниатюризации?
2. Основная идея скейлинга.
3. Чем диктуются пределы скейлинга?
4. При миниатюризации каких областей возрастает роль межсоединений?
5. К чему приводит миниатюризация линии межсоединения?
6. Какие переменные входят в качестве аргументов в волновую функцию электрона, находящегося в потенциальной яме?
7. Перечислите квантовые числа, определяющие состояние электрона в атоме, и укажите их физический смысл.
8. Как математически определяется возможность одновременного измерения параметров квантового объекта с произвольной точностью?
9. Что представляет собой эффект размерного квантования?
10. Поясните причину возникновения дискретных уровней энергии электрона в квантовой яме, исходя из представления о волновой природе электрона.
11. В чём состоит отличие микрочастиц от макрочастиц?
12. Как образуются наноразмерные объекты с пониженной размерностью?
13. Что понимают под квантовой ямой, квантовой нитью, квантовой точкой?
14. Какая гетероструктура является типичным примером эффекта размерного квантования?

15. Какими параметрами определяется электрическая проводимость нанонитей при баллистическом движении электронов?
16. Почему тонкие плёнки являются примером структуры с двумерным электронным газом?
17. Что представляют собой искусственные периодические структуры и почему их называют сверхрешётками?
18. Изобразите энергетические диаграммы сверхрешеток различного типа.
19. Что понимают под композиционной сверхрешёткой?
20. Что понимают под легированной сверхрешёткой?
21. Качественно изобразите волновую функцию электрона при туннельном переходе через потенциальный барьер.
22. В чем состоит физическая причина образования энергетических минизон в сверхрешетках?
23. Опишите процесс кулоновской блокады.
24. В чем состоит эффект гигантского магнетосопротивления?
25. Какова возможная структура, в которой наблюдается эффект гигантского магнетосопротивления?
26. Что такое резонансное туннелирование?
27. Каким условиям должны удовлетворять полупроводниковые слои для образования туннельно-резонансной структуры?
28. Нарисуйте вольт-амперную характеристику (ВАХ) туннельно-резонансной структуры и поясните физические причины ее характерных особенностей.
29. Каковы практические применения процесса туннелирования электрона?
30. Каково применение эффекта резонансного туннелирования в двухбарьерной квантовой структуре?
31. Какова структура и основные свойства ДБКС?
32. Как реализуется резонансное туннелирование в РТД?
33. Какова структура и каковы особенности физических процессов в РТТ? Объяснить ВАХ РТТ.
34. Каковы особенности ПТ с резонансным туннелированием?
35. Каков механизм одноэлектронного туннелирования?
36. Что такое кулоновская блокада и каков ее механизм?
37. Каковы свойства двухбарьерных одноэлектронных структур?
38. Какова структура и каков принцип функционирования одноэлектронного транзистора?
39. Какие физические явления объясняют ВАХ одноэлектронного транзистора?
40. Каковы устройство и принцип работы кремниевого одноэлектронного транзистора с двумя затворами на одиночной КТ?
41. Объяснить ВАХ кремниевого одноэлектронного транзистора с двумя затворами.
42. Объяснить работу инверторов на одноэлектронных транзисторах в логических интегральных схемах.
43. Что представляют собой углеродные нанотрубки и каковы идеи создания на их основе электронных устройств?

9.2. Примерные варианты экзаменационных билетов

Билет № 1

1. Элементарные низкоразмерные структуры, их энергетические диаграммы и плотности состояний в сравнении с трехмерной структурой.
2. Туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры. Резонансное туннелирование.
3. Получить оценку предельной ширины полупроводниковой квантовой ямы, при которой возможно наблюдение квантово-размерных явлений для электронов с эффективной массой $m=0,1m_0$ и подвижностью $\mu=10^3 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Билет № 2

1. Квантовые числа, определяющие состояние электрона в атоме, и их физический смысл.
2. Понятие эффекта размерного квантования.
3. Является ли оправданным приближение бесконечно глубокой ямы в случае квантовой ямы шириной 10^{-8} м, образованной в структуре AlGaAs–GaAs–AlGaAs, если $U_0=0,3$ эВ, $m=0,067m_0$?

Билет № 3

1. Понятие квантовой ямы, квантовой нити, вантовой точки.
2. Явление кулоновской блокады.
3. Показать, что в симметричной квантовой яме всегда существует хотя бы одно разрешенное состояние.

Билет № 4

1. Туннелирование носителей заряда.
2. Особенности энергетического спектра электронов в системах пониженной размерности.
3. Показать, что в узких асимметричных квантовых ямах не всегда могут существовать связанные состояния.

Билет № 5

1. Вольт-амперная характеристика туннельно-резонансной структуры и физические причины её характерных особенностей.
2. Квантовые состояния в системах пониженной размерности.
3. Частица находится в асимметричной квантовой яме шириной L , причем ее энергия $E \ll U_1, U_2$. Показать, что в этих условиях для оценки разрешенных значений волнового числа частицы может применяться формула $k_n = \pi n / (L + \hbar \alpha_1 / \sqrt{2mU_1} + \hbar \alpha_2 / \sqrt{2mU_2})$, где $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ в первом приближении.

Билет № 6

1. Структура и основные свойства ДБКС.
2. Квантовая механика простейших структур.
3. Показать, что в случае симметричной потенциальной ямы при условии $\hbar / \sqrt{2mU_0} \gg L$ (мелкая яма) значение единственного дискретного энергетического уровня составляет $E_1 = U_0 - (mL^2 / 2\hbar^2)U_0^2$.

Билет № 7

1. Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внутренним электрическим полем. Квантовые колодцы.
2. Туннельный перенос носителей заряда в квантово-размерных структурах.
3. Построить график зависимости $R(E/U_0)$, где R — коэффициент отражения частицы с энергией E от потенциальной ступеньки высотой U_0 .

Билет № 8

1. Сверхрешетки.
2. Особенности движения частиц над потенциальным рельефом.
3. Построить график зависимости $R(E/U_0)$, где R — коэффициент отражения частицы с энергией E от симметричного потенциального барьера высотой U_0 .

Билет № 9

1. Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внутренним электрическим полем. Модуляционно-легированные структуры.

2. Физические ограничения минимальных размеров элементов микроэлектроники.
3. Исследовать зависимость R от величины U_2 , где R — коэффициент отражения частицы с энергией E от асимметричного потенциального барьера, при одновременном выполнении условий $U_1 \leq E < U_2$, $\sqrt{2m(U_1 - E)}L / \hbar \ll 1$.

Билет № 10

1. Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внутренним электрическим полем. Дельта-легированные структуры.
2. Энергетические состояния в прямоугольной потенциальной яме сложной формы.
3. Определить значения k , для которых коэффициент прохождения частицы через двухбарьерную структуру (см. рис. 6.1) из абсолютно одинаковых достаточно толстых барьеров принимает минимально возможное значение $T_{\min}$. Чему равно $T_{\min}$?

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель ученого совета ФРТЭ

_____ В.А. Небольсин

« ____ » _____ 20 ____ г.

Лист регистрации изменений (дополнений) УМКД

«Физика низкоразмерных структур»

В УМКД вносятся следующие изменения (дополнения):

Изменения (дополнения) в УМКД обсуждены на заседании кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

Протокол № _____ от « ____ » _____ 20 ____ г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Изменения (дополнения) рассмотрены и одобрены методической комиссией ФРТЭ

Председатель методической комиссии ФРТЭ

Е.Н. Коровин

«Согласовано»

С.И. Рембеза

Карта обеспеченности рекомендуемой литературой

№ п/п	Авторы/ составители	Заглавие	Вид и годы издания	Обеспе- ченность
1. Основная литература				
Л1.1	Борисенко В.Е., Воробьева А.И., Данилюк А.Л., Уткина Е.А.	Нанoeлектроника: теория и практика. — М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 366 с.	Учебник, 2013	1
Л1.2	Борисенко В.Е., Воробьева А.И., Уткина Е.А.	Нанoeлектроника. — М.: БИНОМ. лабора- тория знаний, 2009. — 223 с.	Учеб. пособие, 2009	1
Л1.3	Шишкин Г.Г., Агеев И.М.	Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. — 408 с.	Учеб. пособие, 2011	0,3
Л1.4	Драгунов В.П., Неизвестный И. Г., Гридчин В.А.	Основы нанoeлектроники. — М.: Логос, 2006. — 494 с.	Учеб. пособие, 2006	0,1
Л1.5	Зебрев Г.И.	Физические основы кремниевой нанoeлек- троники. — М.: Техносфера, 2017.	Учеб. пособие, 2017	1
2. Дополнительная литература				
Л2.2	И.М. Ибрагимов, А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров	Основы компьютерного моделирования наносистем. — СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2010. — 384 с.	Учеб. пособие, 2010	0,5
Л2.3	Келсалл Р., Хэмли А.	Научные основы нанотехнологий и новых приборов. — Долгопрудный: ИД «Интел- лект», 2011. — 528 с.	Учеб.- монограф., 2011	0,1
3. Методические разработки				

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Зам. директора НТБ

Т.И. Буковшина