

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”

ДЕКАН РЭФ

д.т.н. Хрусталеv В. А.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Физика низкоразмерных систем

Образовательная программа: 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, магистерская программа: Материалы микро- и наносистемной техники

Курс: 2, семестр : 3

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	Вид деятельности	3
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	4
2	Всего часов	144
3	Всего занятий в контактной форме, час.	83
4	Лекции, час.	36
5	Практические занятия, час.	36
6	Лабораторные занятия, час.	0
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	16
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	9
10	Самостоятельная работа, час.	61
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	КР контр.
12	Вид аттестации	Э

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

ФГОС введен в действие приказом №990 от 09.09.2015 г. , дата утверждения: 05.10.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ППиМЭ, протокол заседания кафедры №5 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

профессор, д.ф-м.н. Климов А. Э.

Заведующий кафедрой:

с.н.с., д.ф-м.н. Гайслер В. А.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Гайслер В. А.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция ФГОС: ПК.2 готовность разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники, анализировать их результаты; в части следующих результатов обучения:	
з3. знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах раздела фаз в различных нано- и микросистемах	
у4. уметь анализировать свойства наночастиц и наноматериалов, возможные способы их получения	
Компетенция ФГОС: ПК.3 готовность разрабатывать физические и математические модели, проводить компьютерное моделирование исследуемых физических процессов в области нанотехнологии и микросистемной техники; в части следующих результатов обучения:	
з5. знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне	
з6. знать основные физико-химические модели процессов, явлений и объектов в области нанотехнологии и микросистемной техники	
з7. знать физические принципы и механизмы, лежащие в основе построения и функционирования нано- и микроструктур	
у3. владеть методами расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых в предметной области	

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
<i>Физика низкоразмерных систем</i>	
ПК.2.з3 знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах раздела фаз в различных нано- и микросистемах	
1. Основные виды и свойства нанообъектов	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.2.у4 уметь анализировать свойства наночастиц и наноматериалов, возможные способы их получения	
2. Получение и изучение объектов исследования	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.3.з5 знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне	
3. Создавать адекватные физические и математические модели	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.3.з6 знать основные физико-химические модели процессов, явлений и объектов в области нанотехнологии и микросистемной техники	
4. Использовать современные экспериментальные и теоретические методы	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.3.з7 знать физические принципы и механизмы, лежащие в основе построения и функционирования нано- и микроструктур	
5. Закономерности строения микрообъектов	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.3.у3 владеть методами расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых в предметной области	
6. Получать и обрабатывать необходимую для организации научных исследований информацию	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 3				

Дидактическая единица: Физические и математические основы физики низкоразмерных полупроводниковых структур				
1. Размерное квантование и условия наблюдения квантово-размерных эффектов , Структуры с двумерным электронным газом, Квантовые нити и квантовые точки. Плотность состояний в системах с пониженной размерностью. Статистика носителей в низкоразмерных структурах. Экситонные и примесные состояния в низкоразмерных структурах. Энергетический спектр сверхрешеток. Классификация сверхрешеток	0	12	1, 3, 4, 5, 6	лекция
Дидактическая единица: Транспорт носителей заряда в низкоразмерных полупроводниковых структурах				
2. Подвижность и время релаксации в двумерном электронном газе. Механизмы рассеяния в двумерном электронном газе. Особенности рассеяния квазидвумерных электронов в сверхрешетках. Баллистический транспорт в двумерном электронном газе. Особенности рассеяния квазидвумерных электронов в сверхрешетках. Кондактанс идеального квантового проводника в баллистическом режиме. Вертикальный перенос в системе квантовых ям. Кулоновская блокада	0	10	1, 2, 3, 4, 5, 6	лекции
Дидактическая единица: Оптические свойства квантовых ям				
3. Межзонное поглощение Межуровневые переходы Оптическая ионизация квантовых ям Эффекты деполяризации	0	6	1, 3, 4, 5, 6	лекции
Дидактическая единица: Магнитное поле и квантовый эффект Холла				

4. Плотность состояний в системах и энергетический спектр двумерного электронного газа в магнитном поле. Кинетические явления в сильных магнитных полях. Осцилляции Шубникова-де Гааза в двумерном электронном газе. Целочисленный квантовый эффект Холла Роль эффектов локализации в квантовом эффекте Холла. Дробный квантовый эффект Холла	0	8	1, 2, 3, 4, 5, 6	лекция
---	---	---	------------------	--------

Таблица 3.2

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 3				
Дидактическая единица: Физические и математические основы физики низкоразмерных полупроводниковых структур				
1. Плотность состояний в системах с пониженной размерностью. Статистика носителей в низкоразмерных структурах	5	15	1, 2, 3, 4, 5, 6	практические занятия в форме семинара
Дидактическая единица: Транспорт носителей заряда в низкоразмерных полупроводниковых структурах				
2. Подвижность электронов в системах с селективным легированием Особенности электрон-фононного взаимодействия в низкоразмерных структурах Эффект Аарона-Бома	7	10	1, 2, 3, 4, 5, 6	Практические занятия в форме семинара
Дидактическая единица: Оптические свойства квантовых ям				
3. Особенности поглощения и излучения в низкоразмерных структурах	4	6	3, 4, 6	Практические занятия
Дидактическая единица: Магнитное поле и квантовый эффект Холла				
6. Эксперименты по дробному квантовому эффекту Холла и его теоретические аспекты. Квазичастицы с дробным зарядом	0	5	2, 3, 4, 5	практические занятия в форме семинара

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 3				
1	Контрольные работы	4	10	0

, подробная информация приведена в приложении №3 : Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил.				
2	Курсовая работа	5, 6	10	4
, подробная информация приведена в приложении №4 : Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил.				
3	Подготовка к занятиям	1, 2, 3	10	0
: Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил.				
4	Дополнительная учебная деятельность	2, 3	0	0
: Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил.				
5	Подготовка к аттестации	1, 2	31	5
, подробная информация приведена в приложении №2 : Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил.				

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	e-mail
Консультирование	e-mail
Размещение учебных материалов	ЭБС

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 3		
<i>Лекция:</i> посещение	5	10
<i>Практические занятия:</i> активная работа на семинаре	12	25
<i>Контрольные работы:</i> выполнение контр. работы	13	25
Контролирующие материалы приводятся в "Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил."		
<i>Курсовая работа:</i> выполнение и защита курсовой работы	50	100 (в состав баллов за КР)
Контролирующие материалы приводятся в "Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил."		
<i>Экзамен:</i>	20	40
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил."		

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля		
		Контр. раб.	Защита КП/КР	Экзамен
ПК.2	з3. знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах раздела фаз в различных нано- и микросистемах	+		+
	у4. уметь анализировать свойства наночастиц и наноматериалов, возможные способы их получения	+	+	+
ПК.3	з5. знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне	+		+
	з6. знать основные физико-химические модели процессов, явлений и объектов в области нанотехнологии и микросистемной техники	+		+
	з7. знать физические принципы и механизмы, лежащие в основе построения и функционирования нано- и микроструктур	+	+	+
	у3. владеть методами расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых в предметной области	+	+	+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Краснопевцев Е. А. Спецглавы физики. Статистическая физика равновесных систем : [учебное пособие] / Е. А. Краснопевцев. - Новосибирск, 2014. - 385, [1] с. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000213264
2. Гридчин В. А. Физика микросистем. Ч. 2 : [учебное пособие для вузов] / В. А. Гридчин, И. Г. Неизвестный, В. Н. Шумский ; [Новосиб. гос. техн. ун-т]. - Новосибирск, 2006. - 495 с. : ил. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000066370
3. Драгунов В. П. Основы нанoeлектроники : учебное пособие для вузов по специальности 200100 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" и 201900 "Микросистемная техника" / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 494 с. : ил. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2004/04_dragunov.pdf
4. Драгунов В. П. Основы нанoeлектроники : учебное пособие для вузов по направлению "Электроника и микроэлектроника", специальностям "Микроэлектроника и твердотельная электроника" и "Микросистемная техника" / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М., 2006. - 494 с. : ил.
5. Драгунов В. П. Физика твердого тела. Основы нанoeлектроники (квантовые проводники и углеродные нанотрубки) : учебное пособие / Драгунов В. П. ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 106, [2] с. : ил., табл. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2007/dragun.pdf>. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".
6. Краснопевцев Е. А. Статистическая физика равновесных систем (в приложении к микро- и наносистемам) : учебное пособие / Е. А. Краснопевцев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 274, [1] с. : графики. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2007/krasnopevcev.pdf>. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".

Дополнительная литература

1. Condensed matter at the leading edge / M. P. Das, editor. - New York, 2006. - IX, 204 p. : ill. - Пер. загл.: Новейшие достижения в области конденсированного вещества.
2. Физика низкоразмерных систем : учебное пособие для вузов по направлению "Техническая физика" / Л. Г. Бакуева [и др.] ; под общ. ред. В. И. Ильина, А. Я. Шика. - СПб., 2001. - 155 с. : ил.

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>
5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил.

8.2 Специализированное программное обеспечение

- 1 Microsoft Windows
- 2 Microsoft Office

9. Материально-техническое обеспечение

Компьютерный класс

№	Наименование	Назначение
1	Компьютерный класс (Компьютеры объединены в локальную сеть с выходом в Internet)	Компьютеры объединены в локальную сеть с выходом в Internet

Специальное оборудование

№	Наименование	Назначение
1	Комплект мультимедийного оборудования	используется при чтении лекций и проведении практических занятий

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н., профессор В.А. Хрусталев
“___” _____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика низкоразмерных систем

Образовательная программа: 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника,
магистерская программа: Материалы микро- и наносистемной техники

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Физика низкоразмерных систем приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ПК.2/НИ готовность разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники, анализировать их результаты	33. знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах раздела фаз в различных нано- и микросистемах	Плотность состояний в системах с пониженной размерностью. Статистика носителей в низкоразмерных структурах	Контрольные работы, раздел Физические и математические основы физики низкоразмерных полупроводниковых структур.	Экзамен, вопросы 2-6
ПК.2/НИ	у4. уметь анализировать свойства наночастиц и наноматериалов, возможные способы их получения	Плотность состояний в системах с пониженной размерностью. Статистика носителей в низкоразмерных структурах Подвижность электронов в системах с селективным легированием Особенности электрон-фононного взаимодействия в низкоразмерных структурах Эффект Аарона-Бома	Контрольные работы Курсовая работа, темы 2, 6, 8	Экзамен, вопросы 2-6, 8, 11, 15.
ПК.3/НИ готовность разрабатывать физические и математические модели, проводить компьютерное моделирование исследуемых физических процессов в области нанотехнологии и микросистемной техники	35. знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне	Особенности поглощения и излучения в низкоразмерных структурах Плотность состояний в системах с пониженной размерностью. Статистика носителей в низкоразмерных структурах	Контрольные работы, раздел Физические и математические основы физики низкоразмерных полупроводниковых структур	Экзамен, вопросы 1-7,16-19
ПК.3/НИ	36. знать основные физико-химические модели процессов, явлений и объектов в области нанотехнологии и микросистемной техники	Особенности поглощения и излучения в низкоразмерных структурах Плотность состояний в системах с пониженной размерностью. Статистика носителей в низкоразмерных структурах	Контрольные работы, раздел Физические и математические основы физики низкоразмерных полупроводниковых структур	Экзамен, вопросы 1-7, 13, 16-19
ПК.3/НИ	37. знать физические принципы и механизмы, лежащие в основе	Плотность состояний в системах с пониженной размерностью. Статистика носителей в низкоразмерных	Контрольные работы Курсовая работа, темы 1-7, 9-10	Экзамен, вопросы 1-14, 19-20

	построения и функционирования нано- и микроструктур	структурах		
ПК.3/НИ	у3. владеть методами расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых в предметной области	Особенности поглощения и излучения в низкоразмерных структурах Плотность состояний в системах с пониженной размерностью. Статистика носителей в низкоразмерных структурах Подвижность электронов в системах с селективным легированием Особенности электрон-фононного взаимодействия в низкоразмерных структурах Эффект Аарона-Бома	Контрольные работы Курсовая работа, темы 1, 3-5, 7-8	Экзамен, вопросы 16-18, 2-7,8, 11-13, 20-24

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 3 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.2/НИ, ПК.3/НИ.

Экзамен проводится в устной форме, по билетам, составленным из вопросов, приведенных в паспорте экзамена, позволяющих оценить показатели сформированности соответствующих компетенций.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 3 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются контрольная работа, курсовая работа. Требования к выполнению контрольной работы, курсовой работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте контрольной работы, курсовой работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ПК.2/НИ, ПК.3/НИ, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения

учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Паспорт экзамена

по дисциплине «Физика низкоразмерных систем», 3 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной или письменной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-11, второй вопрос из диапазона вопросов 12-22 (список вопросов приведен ниже). В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 1

к экзамену по дисциплине «Физика низкоразмерных систем»

1. Размерное квантование и условия наблюдения квантово-размерных эффектов.
2. Вертикальный перенос в системе квантовых ям.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись)
(дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, не знает основные физические принципы и механизмы, лежащие в основе построения и функционирования низкоразмерных структур, оценка составляет 0-19 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, знает основные механизмы физических явлений, происходящих в низкоразмерных структурах, оценка составляет 20-26 балла.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов и физических явлений, происходящих в низкоразмерных структурах, оценка составляет 27-33 балла.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит

комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики основных процессов и физических явлений, происходящих в низкоразмерных структурах, приводит конкретные примеры из практики, оценка составляет 34-40 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Физика низкоразмерных систем»

1. Размерное квантование и условия наблюдения квантово-размерных эффектов.
2. Структуры с двумерным электронным газом.
3. Квантовые нити и квантовые точки.
4. Плотность состояний в системах с пониженной размерностью
5. Статистика носителей в низкоразмерных структурах.
6. Экситонные и примесные состояния в низкоразмерных структурах.
7. Энергетический спектр сверхрешеток. Классификация сверхрешеток.
8. Подвижность и время релаксации в двумерном электронном газе.
9. Механизмы рассеяния в двумерном электронном газе.
10. Баллистический транспорт в двумерном электронном газе.
11. Особенности рассеяния квазидвумерных электронов в сверхрешетках.
12. Кондактанс идеального квантового проводника в баллистическом режиме.
13. Вертикальный перенос в системе квантовых ям.
14. Кулоновская блокада.
15. Эффект Аарона-Бома.
16. Межзонное поглощение в квантово-размерных структурах.
17. Межуровневые переходы и оптическая ионизация квантовых ям.
18. Эффекты деполяризации.
19. Плотность состояний и энергетический спектр двумерного электронного газа в магнитном поле.
20. Кинетические явления в сильных магнитных полях
21. Целочисленный квантовый эффект Холла.
22. Роль эффектов локализации в квантовом эффекте Холла.
23. Дробный квантовый эффект Холла.
24. Осцилляции Шубникова-де Гааза в двумерном электронном газе.

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Физика низкоразмерных систем», 3 семестр

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по темам: Физические и математические основы физики низкоразмерных полупроводниковых структур, Транспорт носителей заряда в низкоразмерных полупроводниковых структурах, Магнитное поле и квантовый эффект Холла,. один вариант включает 4 задания. Выполняется письменно.

2. Критерии оценки

Каждое задание контрольной работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Контрольная работа считается **невыполненной**, если студент при решении всех задач допускает принципиальные ошибки. Оценка составляет **0-12** баллов

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если студент при решении двух задач допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные. Оценка составляет **13-17** баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если студент при решении всех задач допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные Оценка составляет **18-21** баллов.

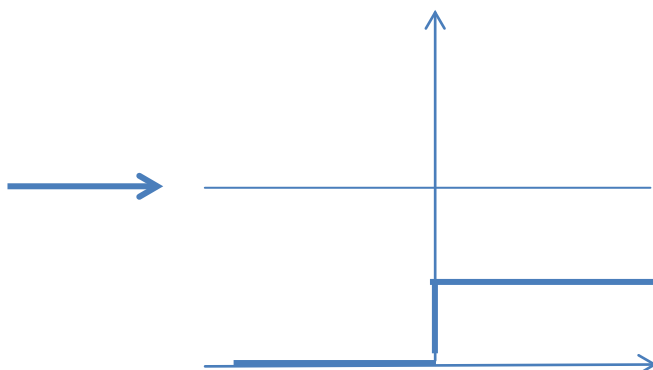
Работа считается выполненной на **продвинутом** уровне, если студент не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи. Оценка составляет **22-25** баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Пример варианта контрольной работы

1. Пусть частица налетает на ступеньку слева направо. Найдите коэффициенты прохождения и отражения.



2. Уравнение Больцмана имеет вид:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{v} \nabla_r f + \frac{\mathbf{F}}{m} \nabla_v f = -\frac{f - f_0}{\tau}$$

Решите его при условии, что на частицу действует слабая сила $\mathbf{F} = \mathbf{F}_0 e^{i\mathbf{k}\mathbf{r} - i\omega t}$.

Подсказка: решение искать в виде $f = f_0 + g$, где g - малая неравновесная добавка (ее и нужно найти).

В общем виде закон Ома можно записать двумя эквивалентными формулами:

$$\mathbf{j} = \hat{\sigma} \mathbf{E}; \quad \mathbf{E} = \hat{\rho} \mathbf{j}$$

3. В рамках модели Друде в магнитном поле компоненты тензора $\hat{\sigma}$:

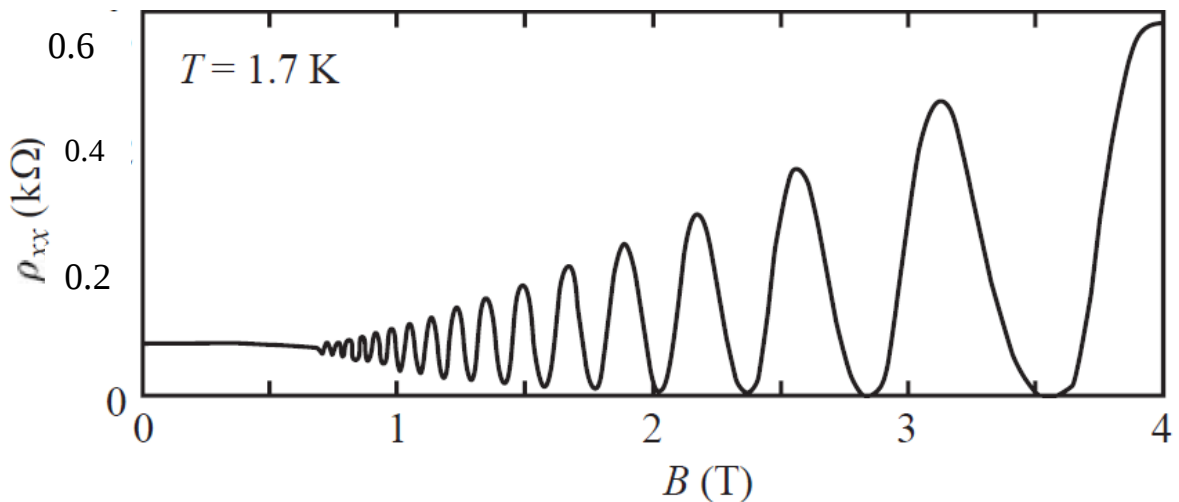
$$\sigma_{xx}(B) = \frac{n_s e^2 \tau}{m^*} \cdot \frac{1}{1 + (\omega_c \tau)^2}$$

$$\sigma_{xy}(B) = \frac{n_s e^2 \tau}{m^*} \cdot \frac{\omega_c \tau}{1 + (\omega_c \tau)^2}$$

Определите компоненты тензора $\hat{\rho}$, учитывая, что $\sigma_{xx} = \sigma_{yy}$, $\sigma_{yx} = -\sigma_{xy}$.

в конце можно подставить $\omega_c \tau = \mu B = (e\tau/m)B$

4. Пользуясь графиком осцилляций Шубникова – де Гааза, определить концентрацию электронного газа.



Паспорт курсовой работы

подисциплине «Физика низкоразмерных систем», 3 семестр

1. Методика оценки.

Целью курсового проекта является ознакомление магистрантов с особенностями изменения энергетического спектра электронов и процессов их взаимодействия при переходе к низкоразмерным системам и новых физических явлений, обусловленных проявлением волновых свойств электронов в твердотельных системах пониженной размерности.

Задание к курсовому проекту предполагает самостоятельный поиск и освоение материала на предложенную тему, аналитическое описание механизмов физических явлений в низкоразмерных системах, анализ теоретических методов и моделей описывающих данные процессы, сравнительный анализ рассматриваемых процессов в объёмном материале и низкоразмерных структурах, анализ количественных параметров, описывающих рассматриваемые явления.

Курсовая работа должна содержать следующие разделы:

1. Введение
2. Описание механизма физического процесса в низкоразмерных системах и сравнительный анализ данного явления с аналогичным в 3D системе.
3. Анализ данного явления в рамках выбранной модели (теории) с использованием количественных параметров и их анализом.
4. Оценка научной значимости рассматриваемого явления и перспективы его прикладного использования в области нанотехнологии и нанoeлектроники
5. Выводы
6. Список используемой литературы.

Работа выполняется в течение семестра, защита проводится только после представления письменного отчета. Основными оцениваемыми позициями являются 2-5 пункты структуры курсовой работы. Письменный отчет выполняется в соответствии с общепринятыми правилами, приведенными например в «Материалы электронной техники»: методические указания/ Новиков И.Л., Дикарева Р.П. – Из-во НГТУ 2013г. – 33с.

2. Критерии оценки.

- работасчитается **не выполненной**, если выполнено менее 50% заданий, нет анализа особенностей данного физического явления, отсутствуют данные об перспективах и области применения данного явления в нанотехнологии и нанoeлектроники, оценка составляет 0-49 баллов.
- работа считается выполненнойна **пороговом** уровне, если части курсовой работы выполнены формально: анализ объекта выполнен без декомпозиции, диагностические признаки недостаточно обоснованы, нет анализа особенностей данного физического явления, отсутствуют данные о перспективах и области применения данного явления в

нанотехнологии и нанoeлектроники, оценка составляет 50-72 баллов.

- работа считается выполненной **на базовом** уровне, если анализ данного физического явления выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, проведен теоретико-математический анализ процессов, происходящих в низкоразмерных системах, проведен сравнительный анализ с аналогичными процессами в 3D материале, проведен анализ особенностей данного физического явления, но нет данных о научной ценности рассматриваемого явления и перспективах его прикладного использования в области нанотехнологии и нанoeлектроники, оценка составляет 73-86 баллов.
- работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если анализ данного физического явления выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, проведен теоретико-математический анализ процессов, происходящих в низкоразмерных системах, проведен сравнительный анализ с аналогичными процессами в 3D материале, проведен анализ особенностей данного физического явления, проанализированы пути и методы оптимизации параметров, количественно описывающих рассматриваемый физический процесс, приведены данные о научной ценности рассматриваемого явления и перспективах его прикладного использования в области нанотехнологии и нанoeлектроники оценка составляет 87-100 баллов.

3. Шкала оценки.

В общей оценке по дисциплине баллы за курсовую работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины, но отдельно от баллов по курсу в целом,

4. Примерный перечень тем курсового проекта (работы).

1. Туннелирование Зинера между уровнями Ландау при больших факторах заполнения.
2. Квазиклассический транспорт 2D электронов в квадратной решетке антиоточек
3. Квазиклассическое магнетосопротивление в двухподзонной системе.
4. Межподзональные осцилляции магнетосопротивления в двумерном электронном газе.
5. Осцилляции Альтшулера-Аронова-Спивака в массиве колец.
6. Транспортное время рассеяния и квантовое время жизни в селективно-легированных гетероструктурах.
7. Квантовое положительное магнетосопротивление в двумерной электронной системе.
8. Резонансное рассеяние электронов на акустических фононах в двумерной системе.
9. Транспортное время рассеяния и квантовое время жизни в анизотропной двумерной системе.
10. Транспорт двумерного электронного газа в одномерном периодическом потенциале.

5. Перечень вопросов к защите курсового проекта (работы).

- Транспорт электронов в системах с селективным легированием.

- Особенности электрон-фононного взаимодействия в низкоразмерных структурах
- Влияние одномерного периодического потенциала на электронный транспорт в 2D структурах.
- Транспорт электронов в анизотропной двумерной системе.
- К чему приводит зинеровское туннелирование электронов, возникающее между уровнями Ландау под действием холловского электрического поля?
- Эффект Шубникова – де Гааза. Его практическое применение.
- В чем причина осцилляций Альтшулера-Аронова-Спивака?
- Магнетосопротивление в двухподзонной системе.
- В чем причина межподзонных осцилляций магнетосопротивления в двумерном электронном газе?
- Магнетосопротивление в двумерной электронной системе, его особенности.