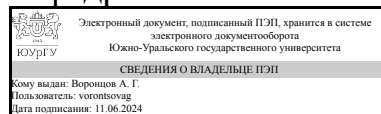


# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой



А. Г. Воронцов

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.П0.13.02 Кинетические явления в наноразмерных системах  
для направления 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

уровень Бакалавриат

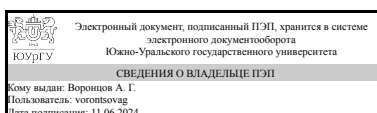
профиль подготовки Нанoeлектроника: проектирование, технология, применение

форма обучения очная

кафедра-разработчик Физика наноразмерных систем

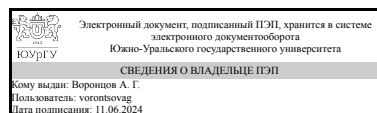
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению  
подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, утверждённым приказом  
Минобрнауки от 19.09.2017 № 927

Зав.кафедрой разработчика,  
д.физ.-мат.н., доц.



А. Г. Воронцов

Разработчик программы,  
д.физ.-мат.н., доц., заведующий  
кафедрой



А. Г. Воронцов

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель преподавания дисциплины - формирование знаний о фундаментальных физических основах нанoeлектроники, закономерностях и механизмах переноса носителей заряда и отдельных атомов в системах пониженной размерности, об электрических, тепловых, оптических, магнитных, механических свойствах низкоразмерных систем.

### Краткое содержание дисциплины

Физическая кинетика является основой для описания физической химии нанодисперсных систем, механизмов формирования наночастиц, кооперативных явлений при атомном и электронном транспорте в наносистемах и включает в себя следующие основные разделы: 1) Теория простых кинетических процессов, в которых участвуют отдельные атомные частицы, взаимодействующие с однородным окружением (диффузия в среде и на поверхности твердого тела, адсорбция и десорбция атомных частиц). Статистической модели броуновских частиц с использованием уравнения Ланжевена или уравнения Фоккера–Планка. Экспоненциальная зависимость скорости простых атомарных процессов от температуры - закон Аррениуса. 2) Теория образования и роста наночастиц (фазовых превращений) на поверхности твердого тела, Модель зародышеобразования (Фольмера–Вебера–Зельдовича) и модель спинодального распада. 3) Кинетические явления в объемных полупроводниках (электропроводность собственных полупроводников, проводимость барьера Шоттки и n-p-перехода., эффект Холла). 4) Теория влияния размерного фактора на термодинамические и электронные свойства низкоразмерных структур (изменение температуры плавления, поверхностной энергии, колебательных и электронных спектров. 5) Особенности переноса носителей заряда через низкоразмерные структуры: баллистический транспорт и интерференционные эффекты, квантование проводимости низкоразмерных проводников, квантовый эффект Холла (интегральный и дробный), одноэлектронное и резонансное туннелирование, спин зависимый транспорт носителей заряда.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-3 Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения	Знает: кинетические явления, оказывающие влияние на работу узлов, блоков электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
---	---

Основы технологий электронного приборостроения	Не предусмотрены
--	------------------

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Основы технологий электронного приборостроения	Знает: перспективные технологии электронного приборостроения Умеет: квалифицированно решать разнообразные технологические задачи, возникающие при производстве и эксплуатации аппаратуры, включая обеспечение долговечности и надежности устройств Имеет практический опыт:

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 ч., 126,75 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		7	8
Общая трудоёмкость дисциплины	216	108	108
<i>Аудиторные занятия:</i>	112	64	48
Лекции (Л)	56	32	24
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	56	32	24
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	0
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	89,25	37,75	51,5
Подготовка к экзамену	26	0	26
Подготовка к лабораторным и контрольным работам по курсу	25,5	0	25,5
Подготовка к зачету	37,75	37,75	0
Консультации и промежуточная аттестация	14,75	6,25	8,5
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет	экзамен

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Введение в курс. Случайные блуждания (броуновское движение), уравнения Фоккера-Планка для описания диффузии и адсорбции	34	16	18	0
2	Теория образования и роста наночастиц (фазовых превращений) на поверхности твердого тела, Модель зародышеобразования Фольмера–Вебера–Зельдовича и модель спинодального распада	10	6	4	0

3	Кинетические явления в объемных полупроводниках (электропроводность собственных полупроводников, проводимость барьера Шоттки и n-p-перехода, эффект Холла)	56	24	32	0
4	Особенности переноса носителей заряда через низкоразмерные структуры: баллистический транспорт и интерференционные эффекты, квантование проводимости низкоразмерных проводников, квантовый эффект Холла	12	10	2	0

## 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Уравнения переноса, основы термодинамики необратимых явлений. Статистическая механика и необратимые процессы	2
2	1	Одномерные случайные блуждания, связь с биномиальным, пуассоновским и гауссовским распределениями	2
3	1	Случайные процессы, их основные характеристики, типы. Теорема Винера-Хинчина	2
4	1	Одномерное случайное блуждание: переход к уравнению Фоккера-Планка и получение граничных условий для него. Марковские процессы. Уравнение Смолуховского, вывод одномерного уравнения Фоккера-Планка	2
5	1	Броуновское движение. Уравнение Ланжевена. Соотношения Эйнштейна. Переход от уравнения Ланжевена к кинетическому уравнению для функции распределения.	2
6	1	Основное кинетическое уравнение. Примеры использования.	2
7	1	Вывод уравнения Больцмана из основного кинетического уравнения. Н-теорема Больцмана. Приближение времени релаксации.	2
8	1	Вывод уравнений гидродинамики из уравнения Больцмана, их физическое содержание	2
7	2	Модель зародышеобразования Фольмера-Вебера-Зельдовича	2
8	2	Модель спиноподобного распада	2
9	2	Особенности образования и роста наночастиц (фазовых превращений) на поверхности твердого тела	2
10	3	Статистика электронов и дырок в собственных и примесных полупроводниках.	4
11	3	Электропроводность собственных и примесных полупроводников	2
12	3	Контактные явления на границе металл-полупроводник	2
13	3	Теория барьера Шоттки. Вольт-амперная характеристика диода Шоттки.	4
14	3	Контактные явления на границе n-p-перехода	2
15	3	Прямые и обратные вольт-амперные характеристики p-n-перехода.	4
16	3	Эффект Холла в полупроводниках.	2
17	3	Термоэлектрические и термомагнитные кинетические явления в полупроводниках	4
18	4	Плотность электронных состояний и статистика носителей заряда в системах с пониженной размерностью.	2
19	4	Фононы в системах с пониженной размерностью	2
20	4	Примесные состояния в системах с пониженной размерностью	2
21	4	Кинетические явления в системах с пониженной размерностью	2
22	4	Квантовый эффект Холла	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Число столкновений и средняя длина свободного пробега молекул в газах. Коэффициенты переноса. Законы Фика, Ньютона, Фурье	2
2	1	Случайные функции и их основные характеристики. Марковские процессы. Их основные характеристики. Теорема Винера-Хинчина. Формула Найквиста.	2
3	1	Случайные блуждания как модельная задача теории случайных процессов. Случайные блуждания и основные функции распределения в теории случайных процессов. Сведение случайных блужданий к уравнению Фоккера-Планка.	2
4	1	Броуновское движение. Уравнение Ланжевена и его решение. Соотношения Эйнштейна в теории диффузии	2
5	1	Основное кинетическое уравнение. Примеры использования основного кинетического уравнения для неравновесных физических задач	2
6	1	Уравнение Больцмана. Использование приближения времени релаксации для расчета термоэлектрических кинетических коэффициентов.	2
7	1	Анализ случайных блужданий методом компьютерного моделирования	6
8	2	Модель зародышеобразования Фольмера-Вебера-Зельдовича	2
9	2	Особенности образования и роста наночастиц на поверхности твердого тела	2
10	3	Статистика электронов и дырок в собственных и примесных полупроводниках	2
11	3	Электропроводность собственных и примесных полупроводников	2
12	3	Контактные явления на границе металл-полупроводник	2
13	3	Моделирование контактных явлений на границе металл-полупроводник	6
14	3	Изучение диода Шоттки методом компьютерного моделирования	6
15	3	Контактные явления на границе n-p_перехода	2
16	3	Изучение полупроводникового p-n-перехода методом компьютерного моделирования	4
17	3	Эффект Холла	2
18	3	Изучение эффекта Холла методом компьютерного моделирования	6
19	4	Кинетические явления в системах с пониженной размерностью	2

### 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

### 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к экзамену	Раздел 3. Шалимова, К. В. Физика полупроводников, глава 6, стр.154-183. Раздел 4: Шалимова, К. В. Физика полупроводников, главы 9 и 10, стр.240-296; Раздел 5: Росадо, Л. Физическая электроника и микроэлектроника. стр. 330-346. Ко всем разделам: Физические основы микро - и наноэлектроники:	8	26

	Методические указания стр.3-68		
Подготовка к лабораторным и контрольным работам по курсу	Раздел 1. Ханефт, А. В. Основы физической кинетики, гл.1 стр. 9-24; Шалимова, К. В. Физика полупроводников, глава 5, стр. 133-143. Раздел 2. Иртюго, Л. А. Кинетика гетерогенных процессов : учебное пособие гл.3 стр.58-76, Задачи стр.106-120. Раздел 3. Шалимова, К. В. Физика полупроводников, глава 6, стр.154-183. Раздел 4: Шалимова, К. В. Физика полупроводников, главы 9 и10, стр.240-296; Раздел 5: Росадо, Л. Физическая электроника и микроэлектроника. стр. 330-346. Ко всем разделам: Физические основы микро - и наноэлектроники: Методические указания стр.3-68	8	25,5
Подготовка к зачету	Раздел 1. Ханефт, А. В. Основы физической кинетики, гл.1 стр. 9-24; Шалимова, К. В. Физика полупроводников, глава 5, стр. 133-143. Раздел 2. Иртюго, Л. А. Кинетика гетерогенных процессов : учебное пособие гл.3 стр.58-76.	7	37,75

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	7	Текущий контроль	Самостоятельная работа №1	4	8	В работе 4 задания. За каждое задание начисляется 0, 1 или 2 балла: 1 балл - правильно записаны исходные формулы (задание сделано частично), 2 балла - получен правильный ответ (задание сделано полностью), 0 баллов - решение нет, или оно неверно.	зачет
2	8	Текущий контроль	Самостоятельная работа №2	4	8	В работе 4 задания. За каждое задание начисляется 0, 1 или 2 балла: 1 балл - правильно записаны исходные формулы (задание сделано частично), 2 балла - получен правильный ответ (задание сделано полностью), 0 баллов - решение нет, или оно неверно.	экзамен
3	7	Текущий контроль	Практическая работа 1	2	4	Отчет по работе сдается студентом после выполнения измерений и расчета	зачет

					необходимых величин. Отчет сдан в срок, оформлен полностью, не содержит ошибок - 4 балла. Отчет сдан в срок, имеются недочеты в оформлении или исправленные грубые ошибки - 3 балла. Отчет сдан не в срок или выполнен частично, возможно наличие ошибок, не меняющих существа физической проблемы - 2 балла. Отчет сдан после окончания срока теоретического обучения либо в отчете имеются грубые ошибки, меняющие физическую суть проблемы - 1 балл. По желанию студента отчет с грубыми ошибками можно доработать, но не более 1 раза		
4	7	Текущий контроль	Практическая работа 2	2	4	Отчет по работе сдается студентом после выполнения измерений и расчета необходимых величин. Отчет сдан в срок, оформлен полностью, не содержит ошибок - 4 балла. Отчет сдан в срок, имеются недочеты в оформлении или исправленные грубые ошибки - 3 балла. Отчет сдан не в срок или выполнен частично, возможно наличие ошибок, не меняющих существа физической проблемы - 2 балла. Отчет сдан после окончания срока теоретического обучения либо в отчете имеются грубые ошибки, меняющие физическую суть проблемы - 1 балл. По желанию студента отчет с грубыми ошибками можно доработать, но не более 1 раза	зачет
5	7	Текущий контроль	Практическая работа 3	2	4	Отчет по работе сдается студентом после выполнения измерений и расчета необходимых величин. Отчет сдан в срок, оформлен полностью, не содержит ошибок - 4 балла. Отчет сдан в срок, имеются недочеты в оформлении или исправленные грубые ошибки - 3 балла. Отчет сдан не в срок или выполнен частично, возможно наличие ошибок, не меняющих существа физической проблемы - 2 балла. Отчет сдан после окончания срока теоретического обучения либо в отчете имеются грубые ошибки, меняющие физическую суть проблемы - 1 балл. По желанию студента отчет с грубыми ошибками можно доработать, но не более 1 раза	зачет
6	8	Текущий контроль	Практическая работа 4	2	4	Отчет по работе сдается студентом после выполнения измерений и расчета необходимых величин. Отчет сдан в срок, оформлен полностью, не содержит ошибок - 4 балла. Отчет сдан в срок, имеются недочеты в оформлении или исправленные грубые ошибки - 3 балла.	экзамен

						Отчет сдан не в срок или выполнен частично, возможно наличие ошибок, не меняющих существа физической проблемы - 2 балла. Отчет сдан после окончания срока теоретического обучения либо в отчете имеются грубые ошибки, меняющие физическую суть проблемы - 1 балл. По желанию студента отчет с грубыми ошибками можно доработать, но не более 1 раза	
7	8	Текущий контроль	Практическая работа №5	2	4	Отчет по работе сдается студентом после выполнения измерений и расчета необходимых величин. Отчет сдан в срок, оформлен полностью, не содержит ошибок - 4 балла. Отчет сдан в срок, имеются недочеты в оформлении или исправленные грубые ошибки - 3 балла. Отчет сдан не в срок или выполнен частично, возможно наличие ошибок, не меняющих существа физической проблемы - 2 балла. Отчет сдан после окончания срока теоретического обучения либо в отчете имеются грубые ошибки, меняющие физическую суть проблемы - 1 балл. По желанию студента отчет с грубыми ошибками можно доработать, но не более 1 раза	экзамен
8	7	Промежуточная аттестация	зачет (письменная работа)	-	40	Билет содержит 5 заданий: 3 теоретических задания, 2 задачи. За каждое полностью и правильно выполненное задание ставится 8 баллов. Каждое задание, как правило, имеет 4 подпункта, каждый из которых оценивается отдельно в 2 балла: 1 балл - задание сделано частично (правильно записаны только исходные формулы, имеются недочеты в формулировках), 2 балла - задание сделано полностью (получен правильный ответ, присутствуют точные формулировки).	зачет
9	8	Промежуточная аттестация	экзамен (письменный)	-	40	Письменный экзамен. Время на работу - 1,5 часа. Билет содержит 5 заданий: 3 теоретических задания, 2 задачи. За каждое полностью и правильно выполненное задание ставится 8 баллов. Каждое задание, как правило, имеет 4 подпункта, каждый из которых оценивается отдельно в 2 балла: 1 балл - задание сделано частично (правильно записаны только исходные формулы, имеются недочеты в формулировках), 2 балла - задание сделано полностью (получен правильный ответ, присутствуют точные формулировки).	экзамен

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания



Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
экзамен	Письменная работа -1,5 час. Возможны дополнительные вопросы по представленной работе. Прохождение контрольного мероприятия промежуточной аттестации не является обязательным	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения
зачет	Письменная работа -1 час. Возможны дополнительные вопросы по представленной работе. Прохождение контрольного мероприятия промежуточной аттестации не является обязательным	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

### 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПК-3	Знает: кинетические явления, оказывающие влияние на работу узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Росадо, Л. Физическая электроника и микроэлектроника Пер. с исп. С. И. Баскакова; Под ред. В. А. Терехова. - М.: Высшая школа, 1991. - 351 с. ил.

#### б) дополнительная литература:

Не предусмотрена

#### в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

1. Успехи физических наук, 1961-2016гг.

#### г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Методические указания для самостоятельной работы студентов

#### из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Методические указания для самостоятельной работы студентов

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Методические пособия для самостоятельной	Электронно-библиотечная система	Кузнецов, С.И. Элементы физической кинетики. Курс физики с примерами решения задач: учебное пособие. [Электронный ресурс] / С.И. Кузнецов, В.В. Каплин, С.Р.

	работы студента	издательства Лань	Углов. — Электрон. дан. — Томск : ТПУ, 2011. — 77 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/10275">http://e.lanbook.com/book/10275</a> — Загл. с экрана.
2	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Шалимова, К. В. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 384 с. — ISBN 978-5-8114-0922-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/167840">https://e.lanbook.com/book/167840</a> (дата обращения: 10.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Ханефт, А. В. Основы физической кинетики : учебное пособие / А. В. Ханефт. — Кемерово : КемГУ, 2020. — 148 с. — ISBN 978-5-8353-2670-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/162602">https://e.lanbook.com/book/162602</a> (дата обращения: 30.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Иртюго, Л. А. Кинетика гетерогенных процессов : учебное пособие / Л. А. Иртюго, А. А. Шубин. — Красноярск : СФУ, 2021. — 132 с. — ISBN 978-5-7638-4282-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/181604">https://e.lanbook.com/book/181604</a> (дата обращения: 11.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5	Методические пособия для самостоятельной работы студента	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Физические основы микро - и наноэлектроники: Методические указания : методические указания. — Москва : РТУ МИРЭА, 2020. — 71 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/163885">https://e.lanbook.com/book/163885</a> (дата обращения: 09.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Гусев, А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии : учебное пособие / А. И. Гусев. — 2-е изд., испр. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 416 с. — ISBN 978-5-9221-0582-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/2173">https://e.lanbook.com/book/2173</a> (дата обращения: 01.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Office(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
-------------	--------	--

Лекции	305 (16)	Оборудование для демонстрации презентаций: компьютер проектор, экран
Лабораторные занятия	305 (16)	Компьютер, проектор, экран