

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»

КАФЕДРА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

«СОГЛАСОВАНО»

Декан ФЭ

 / Н.М. Верещагин
«09» 06 2020 г

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор РОПиМД

 / А.В. Корячко
«06» 06 2020 г

Заведующий кафедрой ЭП

/ М.В. Чиркин

 / М.В. Чиркин
«09» 06 2020 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.16 «Статистическая физика электронных процессов»

Направление подготовки

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль) подготовки

«Электронные приборы и устройства»

Уровень подготовки

Академический бакалавриат

Квалификация выпускника — бакалавр

Форма обучения — очная

Рязань, 2020 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»,

утвержденного 19.09.2017 №927

Разработчики
д.ф. - м.н., профессор



М.В. Чиркин

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры

« 03 » 06 2020 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой «Электронные приборы»

д.ф. - м.н., профессор



М.В. Чиркин

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы бакалавриата

Рабочая программа по дисциплине «Статистическая физика электронных процессов» является составной частью основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) академического бакалавриата, разработанной в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» (уровень бакалавриата), утвержденным приказом Минобрнауки России от 12.03.2015 № 218.

Целью изучения дисциплины является подготовка студента к решению типовых задач электроники, связанных с практическим использованием статистических распределений.

Задачи дисциплины:

- изучение основных принципов статистической физики и статистических распределений, необходимых для решения задач электроники;
- изучение связей законов квантовой физики с распределениями фермионов и бозонов по энергиям;
- изучение соотношений между характеристиками вещества на микро- и макроуровнях; изучение способов описания и основных характеристик шумов в электронных приборах и устройствах;
- получение навыков научно-исследовательской и инженерной работы.

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Категория (группа) общепрофессиональных компетенций	Код и наименование общепрофессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения общепрофессиональной компетенции
ОПК-2	ОПК-2. Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	<u>Знать</u> : современные проблемы и подходы к их решениям методами статистической физики в области электроники, электротехники, особенности современного этапа развития электроники и ее практического применения. <u>Уметь</u> : анализировать физическую сущности процессов, протекающих в проводниковых, диэлектрических, полупроводниковых материалах используя методы статистической физики. <u>Владеть</u> : способностью привлекать соответствующий физико-математический аппарат для выявления физической сущности явлений и процессов в электронных приборах.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина «Статистическая физика электронных процессов» (Б1.О.16) является обязательной, относится к вариативной части блока 1 ОПОП «Электронные приборы и устройства» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» ФГБОУ ВО «РГРТУ».

Дисциплина изучается по очной форме обучения на 2 курсе в 4 семестре.

Пререквизиты дисциплины. Настоящая дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении следующих дисциплинах учебного плана: «Физика», «Математика»,

«Информатика», «Пакеты прикладных программ», «Численные методы решения задач электроники».

До начала изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:

знать: основные факты, базовые концепции и модели физики, информатики; основы технологии работы на персональных компьютерах в современных операционных средах; текстовый и графический интерфейсы; пакеты прикладных программ; элементы вычислительной математики.

уметь: применять на практике основные приемы и программные средства обработки и представления данных в соответствии с задачей;

владеть: базовыми навыками экспериментального исследования параметров и характеристик конденсированных сред.

Взаимосвязь с другими дисциплинами. Курс «Основы статистической физики» содержательно и методологически взаимосвязан с другими курсами, такими как: «Математика», «Физика», «Информатика». Программа курса ориентирована на возможность расширения и углубления знаний, умений и навыков бакалавра для успешной профессиональной деятельности.

Постреквизиты дисциплины. Компетенции, полученные в результате освоения дисциплины, необходимы обучающемуся при изучении следующих дисциплин: «Физические основы электроники», «Твердотельная электроника», «Квантовая и оптическая электроника», «Физика конденсированного состояния», НИР, «Преддипломная практика», «Выпускная квалификационная работа»

3. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетные единицы (ЗЕ), 108 часов.

Вид учебной работы	Всего часов		
	Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
Общая трудоемкость дисциплины, в том числе:	108	-	-
Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего), в том числе:	48	-	-
Лекции	24	-	-
Лабораторные работы	16	-	-
Практические занятия	8	-	-
Самостоятельная работа обучающихся (всего), в том числе:	60	-	-
Курсовой проект/ курсовая работа	-	-	-
Подготовка к экзамену, консультации	-	-	-
Консультации в семестре	6	-	-
Иные виды самостоятельной работы	54	-	-
Вид промежуточной аттестации обучающихся:	зачет	-	-

4. Содержание дисциплины

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)

Тема 1. Введение.

Функции распределения частиц по скоростям и энергиям. Принцип детального равновесия.

Особенности функции распределения при детальном равновесии.

Тема 2. Распределение Максвелла.

Равномерное распределение энергии по степеням свободы в классической статистической физике. Распределение Максвелла по компоненте скорости и его нормировка. Распределение Максвелла по модулю скорости. Средняя, среднеквадратичная и наиболее вероятная скорости молекул. Вычисление частот столкновительных процессов в ионизированном газе. Вычисление потоков частиц. Вывод формулы Ричардсона для термоэлектронной эмиссии. Доплеровское уширение спектральных линий излучения атомов газа.

Тема 3. Распределение Больцмана.

Газ классических частиц в потенциальном силовом поле в состоянии термодинамического равновесия. Барометрическая формула и атмосферы планет. Самосогласованное описание равновесных распределений электронов и электрического поля в p-n переходе.

Тема 4. Распределение Ферми-Дирака.

Тождественность элементарных частиц и принцип Паули. Вероятность заполнения электроном энергетического состояния – функция распределения Ферми-Дирака. Количество состояний электрона в единичном энергетическом интервале. Распределение электронов по энергиям. Нормировка функции распределения Ферми-Дирака. Химический потенциал и энергия Ферми. Сравнение распределений Ферми-Дирака и Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения для электронного газа.

Тема 5. Распределение Бозе-Эйнштейна.

Упругие и неупругие столкновения частиц, сечение столкновения. Средняя длина свободного пробега. Распределение частиц по длинам свободного пробега. Теплопроводность и перенос энергии. Диффузия и перенос вещества. Вязкость и перенос импульса. Электропроводность и перенос заряда. Молекулярное течение ультраразреженного газа (течение Кнудсена).

Тема 6. Случайные процессы в электронных приборах.

Вероятностное описание случайных процессов. Корреляционная функция. Стационарные случайные процессы. Эргодичность. Спектральное разложение случайного процесса. Спектральная плотность шума и ее преобразование в электрических цепях. Соотношения Винера – Хинчина. Тепловой шум. Формула Найквиста для спектральной плотности источника теплового шума. Дробовой шум. Формула Шоттки для спектральной плотности источника дробового шума. Фликкер-эффект. Шум «1/f» и его источники. Равновесные флуктуации сопротивления. Избыточные шумы в усилителях электрических сигналов. Измерения спектральной плотности шума.

4.2. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах).

№ п/п	Тема	Общая трудоемкость всего часов	Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа обучающихся
			Всего	лекции	Практ	лабор	
1	Введение.	3	1	1	-	-	2
2	Распределение Максвелла	17	9	3	2	4	8
3	Распределение Больцмана	18	10	4	2	4	8
4	Распределение Ферми-Дирака	20	10	4	2	4	10
5	Распределение Бозе-	14	4	4	-	-	10

	Эйнштейна						
6	Кинетическая теория процессов переноса	12	4	4	-	-	8
7	Случайные процессы в электронных приборах	18	10	4	2	4	8
8	Консультации в семестре	6	-	-	-	-	6
9	Экзамен	-	-	-	-	-	-
	Всего:	108	48	24	8	16	60

4.3 Виды практических, лабораторных и самостоятельных работ

№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудоемкость, часов
1	Введение	Самостоятельная работа обучающегося	Изучение конспекта лекций.	2
2	Распределение Максвелла	Лабораторная работа	Распределение Максвелла	4
		Самостоятельная работа обучающегося	Равномерное распределение энергии по степеням свободы в классической статистической физике. Распределение Максвелла по компоненте скорости и его нормировка. Распределение Максвелла по модулю скорости. Подготовка к ЛР. Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета	8
		Практическая работа	Решение типовых задач по теме «Распределение Максвелла»	2
2	Распределение Больцмана	Лабораторная работа	Равновесное распределение электронов в самосогласованном электрическом поле p-n перехода	4
		Самостоятельная работа обучающегося	Газ классических частиц в потенциальном силовом поле в состоянии термодинамического равновесия. Подготовка к ЛР. Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	8
		Практическая работа	Решение типовых задач по теме «Распределение Больцмана»	2
4	Распределение Ферми-Дирака	Лабораторная работа	Распределение Ферми-Дирака для газа свободных электронов	4

№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудоемкость, часов
		Самостоятельная работа обучающегося	Распределение Ферми-Дирака. Статистическое описание электронного газа. Изучение конспекта лекций. Подготовка к ЛР. Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	10
		Практическая работа	Решение типовых задач по теме «Распределение Ферми-Дирака»	2
5	Распределение Бозе-Эйнштейна	Самостоятельная работа обучающегося	Распределение Бозе-Эйнштейна. Распределение Планка для равновесного теплового излучения. Изучение конспекта лекций. Подготовка к ЛР. Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	10
6	Кинетическая теория процессов переноса	Самостоятельная работа обучающегося	Кинетическая теория процессов переноса: диффузия, теплопроводность, вязкость, электропроводность. Изучение конспекта лекций. Подготовка к ЛР. Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	8
7	Случайные процессы в электронных приборах	Лабораторная работа	Случайные процессы в электронных цепях.	4
		Самостоятельная работа обучающегося	Случайные процессы в электронных приборах. Спектральная плотность и автокорреляционная функция для случайного процесса. Соотношения Винера-Хинчина. Тепловой и дробовой шум, формулы Найквиста и Шоттки. Фликкер-эффект. Подготовка к ЛР. Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета	8
		Практическая работа	Решение типовых задач по теме «Случайные процессы»	2
8	Консультации в семестре	Самостоятельная работа обучающегося	Изучение конспекта лекций. Подготовка к теоретическому зачету	6

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Основы статистической физики. Методические указания к лабораторным работам/ Сост.: М.В. Чиркин, Г.В. Давыдов, А.Е. Серебряков, В.Ю. Мишин. Рязань, РГРТУ, 2016. 32 с.
2. Литвинов В.Г., Холомина Т.А., Зубков М.В. Квантовая механика и статистическая физика. Методические указания к практическим занятиям лабораторным работам. Рязань, РГРТУ, 2008. 32 с.

Перечень учебно-методического обеспечения лабораторных занятий

1. Основы статистической физики. Методические указания к лабораторным работам/ Сост.: М.В. Чиркин, Г.В. Давыдов, А.Е. Серебряков, В.Ю. Мишин. Рязань, РГРТУ, 2016. 32 с.

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Фонд оценочных средств приведен в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ «Оценочные материалы по дисциплине «Основы статистической физики»).

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная учебная литература:

1. И.Ф. Щеголев. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2008. – 208 с.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т II. Термодинамика и молекулярная физика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 544 с.

Дополнительная учебная литература:

1. А.М. Васильев. Введение в статистическую физику. – М.: Высшая школа, 1980. – 272 с.
2. Ф. Рейф. Статистическая физика. – М.: Наука, 1977. – 351 с.
3. Ч. Киттель. Статистическая термодинамика. – М.: Наука, 1977. – 336 с.

8. Перечень ресурсов информационно–телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

Электронные образовательные ресурсы:

- 1) Курс лекций по статистической физике д.ф.-м.н., профессора Аджемян Л. Ц. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=gUrEkPyUDJ0>
- 2) Электронно-библиотечная система «IPRBook». ЭБС издательства «IPRBook» [Электронный ресурс]. – URL: <http://iprbookshop.ru/>
- 3) Электронно-библиотечная система «Лань». ЭБС издательства «Лань» [Электронный ресурс]. – URL: <http://e.lanbook.com>

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы:

Информационно-справочные система «Наука и образование» – URL: <https://edu.rin.ru/cgi-bin/vuz/works.pl>

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Материал каждой лекции рекомендуется изучать в день ее прочтения лектором, когда она еще не забыта. При этом необходимо использовать конспект и рекомендованную литературу. Использовать литературу необходимо для углубленного изучения материала лекции и для уточнения тех мест, которые в конспекте оказались записаны недостаточно понятно. В конспекте каждой лекции необходимо оставлять чистое место и конспектировать в нем изученную литературу, чтобы при подготовке к текущей, промежуточной или итоговой аттестации можно было повторить всю тему. Лектором в течение всего семестра проводятся консультации по лекционному материалу.

Каждую тему, предусмотренную планом самостоятельной работы, следует изучать самостоятельно в течение отведенных для ее изучения двух недель с помощью рекомендованной литературы. Все возникающие при этом вопросы надо записывать, чтобы получить на них ответы на консультации. По каждой теме для каждой учебной группы лектор проводит консультации в конце ее изучения (один раз в две недели).

К каждой лабораторной работе надо готовиться с помощью конспекта лекций по теме работы, изучения рекомендованной литературы и методических рекомендаций к лабораторным работам. Необходимо подготовить и шаблон отчета, чтобы за время, отведенное для выполнения работы, можно было оформить отчет, защитить и сдать его.

Отчет о лабораторной работе должен содержать следующие элементы:

- номер, название и цель работы;
- чертеж функциональной схемы установки, выполненный карандашом по линейке либо при помощи соответствующей компьютерной программы;
- основные расчетные соотношения;
- таблицы результатов экспериментов, выполненные карандашом по линейке;
- графики экспериментальных зависимостей, полученных при выполнении лабораторной работы;
- выводы, содержащие анализ экспериментальных зависимостей, сравнение результатов, полученных в работе, с данными справочной литературы.

При выполнении лабораторной работы каждому студенту необходимо иметь полностью оформленный отчет о ранее выполненной работе и отчет о выполняемой работе, содержащий все перечисленные элементы (за исключением экспериментальных данных в таблице, графиков, выводов). При несоблюдении указанных требований студент к лабораторной работе не допускается.

Практическая работа студента заключается в решении или выполнении типовых задач и заданий. Каждое решение должно быть оформлено в виде отчета и должно содержать следующие элементы:

- титульный лист;
- начальное данные;
- решение задачи или результат выполненного задания.

В конце семестра при подготовке к аттестации студент должен повторить изученный в семестре материал и в ходе повторения обобщить его, сформировав цельное представление о нем. Следует иметь в виду, что на подготовку к промежуточной аттестации времени бывает очень мало, поэтому начинать эту подготовку надо заранее, не дожидаясь последней недели семестра.

Следует всегда помнить, что залог успеха студента в учебе – планомерная работа в течение всего семестра и своевременное выполнение всех видов работы.

Самостоятельная работа как вид учебной работы может использоваться на лекциях и практических занятиях, а также иметь самостоятельное значение – внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся – при подготовке к лекциям, практическим занятиям, а также к теоретическому зачету.

Основными видами самостоятельной работы по дисциплине являются:

- самостоятельное изучение отдельных вопросов по темам самостоятельных работ (п.4.3);
- подготовка к защите практического задания, оформление отчета.
- подготовка к защите лабораторных работ, оформление отчета.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки бакалавров 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», при изучении студентами дисциплины «Твердотельная электроника» реализация компетентностного подхода предусматривает широкое ис-

пользование в учебном процессе активных и интерактивных технологий проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой преподавателя и студента.

Изучение дисциплины предусматривает применение активных форм проведения занятий с целью формирования и развития общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций обучающихся.

При проведении самостоятельной работы обучающихся используются следующие информационные технологии:

- доступ в сеть Интернет, обеспечивающий, поиск актуальной научно-методической и научно-технической информации;

- необходимое программное обеспечение для выполнения программы дисциплины, установленное в вузе, а также для выполнения самостоятельной работы в домашних условиях;

При организации самостоятельной работы студентов используется комплекс учебных и учебно-методических материалов в сетевом доступе (программа, методические пособия, список рекомендуемых источников литературы и информационных ресурсов, задания в тестовой форме и вопросы для самоконтроля).

Принятая технология обучения базируется на интерактивной работе в аудитории, когда в процессе лекций, лабораторных и практических занятий, дополняемых самостоятельной работой обучающихся, в том числе и с участием преподавателя, выполняется серия экспресс-заданий, совокупность которых позволяет практически применить полученные знания, развивая компетенции, предусмотренные для данной дисциплины.

Проведение ряда занятий осуществляется с использованием компьютеров и мультимедийных средств, наглядных пособий.

Перечень лицензионного программного обеспечения:

- 1) Операционная система Windows XP (лицензия Microsoft DreamSpark Membership ID 700102019);
- 2) Свободно распространяемый офисный пакет LibreOffice (лицензия LGPL-3.0+)
- 3) Программа Mathcad (Лицензия PKG-7517-LN Mathcad University Classroom Perpetual Sales Order Number (SON) – 2469998, Service Contract Number (SCN) – 8A1365510 – с 3.02.2008 – бессрочно)

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для освоения дисциплины необходимы:

- 1) для проведения лекционных занятий необходима аудитория с достаточным количеством посадочных мест, соответствующая необходимым противопожарным нормам и санитарно-гигиеническим требованиям;

- 2) для проведения лабораторных работ необходим компьютерный класс с предустановленным программным обеспечением:

- Операционная система Windows XP;
- Свободно распространяемый офисный пакет LibreOffice
- Программа Mathcad

- 3) образцы отчетов по лабораторным работам;

- 4) для проведения лекций и практических занятий аудитория должна быть оснащена проекционным оборудованием.

Программу составили
д.ф. - м.н., профессор



Чиркин М.В.