

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»

Факультет нелинейных процессов

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебно-  
методической работе  
проф., д.ф.н.

« 4 » 11



**Рабочая программа дисциплины**

Вакуумная и плазменная электроника

Направление подготовки  
11.03.04 "Электроника и нанoeлектроника"

Профиль подготовки  
«Приборы микро- и нанoeлектроники, методы измерения микро- и наносис-  
тем».

Квалификация (степень) выпускника  
Бакалавр

Форма обучения  
очная

Саратов

2016

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Вакуумная и плазменная электроника» являются:

1. Развитие профессиональных компетенций в области изучения и анализа открытых нелинейных систем в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки "Электроника и наноэлектроника";
2. Приобретение навыков самостоятельного решения практических задач;
3. Формирование у обучающихся навыков владения современным математическим аппаратом для описания процессов, протекающих при взаимодействии заряженных частиц с электрическими и магнитными полями;
4. Формирование навыков экспериментального исследования, работы с современным измерительным оборудованием.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Вакуумная и плазменная электроника» относится к вариативной части Блока 1 "Дисциплины (модули)" и является дисциплиной по выбору (Б1.В.ДВ.11.1) Преподавание дисциплины осуществляется в 6 семестре. Общая трудоемкость составляет 5 зачетных единиц.

Для усвоения дисциплины обучаемый должен обладать базовой физико-математической подготовкой, владеть основами электромагнетизма, электродинамики и уметь применять их на практике. Для освоения курса необходимы знания методов математического анализа, теории дифференциальных уравнений, основ теории электричества.

Дисциплина «Вакуумная и плазменная электроника» связана с такими дисциплинами учебного плана как «Электричество и магнетизм», «Электродинамика сплошных сред», «Квантовая и оптическая электроника».

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

Процесс освоения дисциплины «Вакуумная и плазменная электроника» направлен на формирование у обучающихся следующих общепрофессиональных компетенций:

- способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2)
- способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных (ОПК-5)

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**Знать:**

- основные понятия и определения физической и технической электроники;

- сущность физических явлений, происходящих при эмиссии заряженных частиц, движении их через потенциальные барьеры различной природы и взаимодействиях их с электромагнитными полями;
- основы методов измерений, особенности проведения экспериментальных исследований электронных систем.

**Уметь:**

- создавать элементарные модели поведения физических систем, лежащих в основе современных электронных приборов
- сопоставлять полученные данные с характеристиками, используемыми на практике.
- оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в вакууме и газах

**Владеть:**

- методами постановки научного эксперимента для исследования вакуумных и плазменных сред;
- навыками работы с электрическими экспериментальными установками;
- навыками работы с современными измерительными приборами;

**4. Структура и содержание дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	
2	3	4	6	7		8	9
Раздел 1. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.	6	1-4	10	10	-	20	Текущий контроль практических навыков в процессе проведения лабораторных занятий
Раздел 2. Электронная оптика.	6	5-8	8	8	-	20	
Раздел 3. Основы эмиссионной электроники	6	9-13	8	8	-	20	Текущий контроль практических навыков

Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	
2	3	4	6	7		8	9
							в процессе проведения лабораторных занятий
Раздел 4. Электрический ток в газе. Плазма.	6	14-17	8	8	-	16	Текущий контроль практических навыков в процессе проведения лабораторных занятий
<b>Итого за семестр: 180 часов</b>		<b>17</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>-</b>	<b>76</b>	<b>Экзамен (36 час)</b>

## Содержание учебной дисциплины

### 6 семестр

#### Раздел 1. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.

Законы сохранения. Волновые свойства электрона. Движение заряженных частиц в однородных полях (общий случай, движение только в электрическом поле, движение только в магнитном поле, движение во взаимноперпендикулярных полях).

Отклонение и фокусировка заряженных частиц (фокусировка в однородном магнитном поле, фокусировка в однородном электрическом поле, отклонение в магнитном поле, отклонение в электрическом поле).

#### Раздел 2. Электронная оптика

Электростатические электронные линзы. Общая теория фокусирующего действия аксиально-симметричного поля. Построение изображений. Теория тонких электростатических линз. Типы электростатических электронных линз (линзы-диафрагмы, бипотенциальные линзы, одиночные линзы, электростатические зеркала).

Магнитные линзы. Механизм фокусировки в магнитной линзе. Влияние экранирования.

Аберрации электронных линз.

### **Раздел 3. Основы эмиссионной электроники**

Природа потенциального барьера на границе металл – вакуум. Контактная разность потенциалов.

Термоэлектронная эмиссия. Плотность термоэмиссионного тока. Распределение скоростей и энергия термоэлектронов.

Фотоэлектронная эмиссия. Законы Эйнштейна и Столетова. Спектральные фотохарактеристики элементов. Влияние поляризации света. Теория фотоэмиссии металлов. Фотоэмиссия диэлектриков и полупроводников.

Автоэлектронная эмиссия. Влияние внешнего ускоряющего электрического поля на потенциальный барьер. Теория эффекта Шоттки. Переход электронов сквозь потенциальный барьер как границу раздела двух сред. Взрывная эмиссия.

Вторичная электронная эмиссия. Качественное рассмотрение и теория вторичной эмиссии.

### **Раздел 4. Электрический ток в газах.**

Качественное описание разрядной ВАХ. Ионизация и рекомбинация. Направленное движение электронов и ионов в газе. Дрейфовое движение носителей заряда в газе. Диффузионное движение, амбиполярная диффузия. Самостоятельный и несамостоятельный разряд, пробой газа, кривые Пашена. Тлеющий разряд. Дуговой разряд. Искровой разряд. Коронный разряд.

Плазма. Изотермическая и неизотермическая плазма. Основные свойства плазмы. Радиус Дебая. Основные методы исследования характеристик плазмы.

## **5. Образовательные технологии**

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

- Лекционно-семинарско-лабораторно-зачетная система обучения;
- Информационно-коммуникационные технологии;
- Проектные методы обучения;
- Лабораторные исследования;
- Исследовательские методы в обучении;
- Проблемное обучение.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки "Электроника и наноэлектроника" реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и ин-

интерактивных форм проведения занятий (лабораторные экспериментальные исследования, компьютерные симуляции, разбор конкретных ситуаций, работа над проектами) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Эффективность применения интерактивных форм обучения обеспечивается реализацией следующих условий:

- создание диалогического пространства в организации учебного процесса;
- формирование навыков проведения экспериментальных исследований;
- использование принципов социально-психологического обучения в учебной и внеучебной деятельности;
- мониторинг личностных особенностей и профессиональной направленности студентов;
- формирование психологической готовности преподавателей к использованию интерактивных форм обучения, направленных на развитие внутренней активности студентов.

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

- стимулирование мотивации и интереса в области анализа сложных электронно-волновых систем и различных технических устройств на их основе в общеобразовательном, общекультурном и профессиональном плане;
- повышение уровня активности и самостоятельности обучаемых;
- развитие навыков анализа, критичности мышления, взаимодействия, коммуникации;
- саморазвитие и развитие обучаемых благодаря активизации мыслительной деятельности и диалогическому взаимодействию с преподавателем и другими участниками образовательного процесса.

В рамках учебного курса предусмотрены также встречи с представителями российских компаний и научных организаций.

При изучении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья предусмотрены:

- Индивидуальные консультации;
- Увеличение времени на 30% при подготовке к ответу во время промежуточной аттестации.

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

Важную роль при освоении дисциплины «Вакуумная и плазменная электроника» играет самостоятельная работа студентов. Самостоятельная работа способствует:

- углублению и расширению знаний;
- формированию интереса к познавательной деятельности;
- овладению приёмами процесса познания;
- развитию познавательных способностей.

Самостоятельная работа студентов имеет основную цель – обеспечить качество подготовки выпускаемых специалистов в соответствии с требованиями основной образовательной программы по направлению подготовки бакалавров "Электроника и наноэлектроника".

К самостоятельной работе относятся:

- самостоятельная работа на аудиторных занятиях (лекциях, коллоквиумах, лабораторных занятиях);
- внеаудиторная самостоятельная работа.

В процессе обучения предусмотрены следующие виды самостоятельной работы обучающегося:

- Работа с конспектами лекций.
- Проработка пройденных лекционных материалов по конспекту лекций, учебникам и пособиям на основании вопросов, подготовленных преподавателем;
- Написание рефератов по отдельным разделам дисциплины.
- Подготовка научных докладов и творческих работ,
- Проработка дополнительных тем, не вошедших в лекционный материал, но обязательных согласно учебной программе дисциплины;
- Самостоятельное решение сформулированных задач по основным разделам курса.
- Работа над проектами.
- Подготовка к лабораторным занятиям.
- Изучение обязательной и дополнительной литературы.
- Подготовка к текущему и промежуточному контролю знаний.
- Выполнение контрольных работ.
- Подготовка группового отчета или презентации.

В целях фиксации результатов самостоятельной работы студентов по дисциплине проводится аттестация самостоятельной работы студентов. Контроль результатов самостоятельной работы осуществляется преподавателем в течение всего семестра и завершается в период зачетно-экзаменационной сессии перед аттестацией учебной работы студентов по дисциплине.

При освоении модуля могут быть использованы следующие формы контроля самостоятельной работы:

- устный опрос,
- доклад,
- реферат,
- отчет по выполненной лабораторной работе,
- творческая работа,
- тест,
- контрольная работа,
- другие по выбору преподавателя.

Студент организует самостоятельную работу в соответствии с рабочим учебным планом и графиком, рекомендованным преподавателем. Студент должен выполнить объем самостоятельной работы, предусмотренный рабочим учебным планом, максимально используя возможности индивидуального, творческого и научного потенциала для освоения образовательной программы в целом. Самостоятельная работа студентов может носить репродуктивный, частично-поисковый и поисковый характер. Самостоятельная работа, носящая репродуктивный характер, предполагает, что в процессе работы студенты пользуются методическими материалами и методическими пособиями, в которых указывается, в какой последовательности следует изучать материал дисциплины, обращается внимание на особенности изучения отдельных тем и разделов. Самостоятельная работа, носящая частично-поисковый характер и поисковый характер, нацеливает студентов на самостоятельный выбор способов выполнения работы, на развитие у них навыков творческого мышления, инновационных методов решения поставленных задач.

Студенту при выполнении самостоятельной работы по дисциплине следует:

1. Внимательно изучить материалы, характеризующие курс и тематику самостоятельного изучения. Это позволит четко представить как круг, изучаемых тем, так и глубину их постижения.
2. Составить подборку литературы, достаточную для изучения предлагаемых тем. Существуют основной и дополнительный списки литературы. Они носят рекомендательный характер, это означает, что всегда есть литература, которая может не входить в данный список, но является необходимой для освоения темы.
3. Основное содержание той или иной проблемы следует уяснить, изучая учебную литературу. Работа с учебником требует постоянного уточнения сущности и содержания категорий посредством обращения к энциклопедическим словарям и справочникам.
4. Абсолютное большинство проблем носит не только теоретический, умозрительный характер, но самым непосредственным образом выходят на жизнь, они тесно связаны с практикой социального развития,



преодоления противоречий и сложностей в обществе. Это предполагает наличие у студентов не только знания категорий и понятий, но и умения использовать их в качестве инструмента для анализа социальных проблем. Иными словами студент должен совершать собственные интеллектуальные усилия, а не только механически заучивать понятия и положения.

5. Соотнесение изученных закономерностей с жизнью, умение достигать аналитического знания предполагает у студента мировоззренческую культуру. Формулирование выводов осуществляется прежде всего в процессе творческой дискуссии, протекающей с соблюдением методологических требований к научному познанию.

### ***Возможные темы рефератов:***

- Плотность состояний и функции распределения электронов в кристалле. Уровень Ферми.
- Контактная разность потенциалов, ее проявление в электрических схемах.
- Движение заряженных частиц в комбинированных электрических и магнитных полях
- Виды газового разряда и применение их в современных технологиях
- Явление автоэлектронной эмиссии
- Применение автоэлектронной эмиссии в технологиях XXI века.
- Применение электронных приборов в усилительных схемах.
- Методы измерения величины удельного заряда электрона.

Текущая успеваемость обучающихся контролируется с помощью проведения контрольных работ и устных опросов. Формой промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины по данному курсу является экзамен. Работа студента на лабораторных занятиях оценивается преподавателем, ведущим эти занятия. Экзаменационная оценка выставляется по итогам лабораторных занятий и прохождения экзамена. Для самоконтроля знаний студенты могут использовать компьютерные тесты, размещенные в Интернет на сайте СГУ.

### ***Контрольные вопросы и задания:***

1. Движение заряженных частиц в однородных электрических и магнитных полях. Вывод уравнений движения.
2. Отклонение и фокусировка заряженных частиц (фокусировка в однородном магнитном поле, фокусировка в однородном электрическом поле, отклонение в магнитном поле, отклонение в электрическом поле).
3. Общая теория фокусирующего действия аксиально-симметричного поля.

4. Формула тонких электростатических линз.
5. Особенности различных типов электростатических электронных линз.
6. Механизм фокусировки в магнитной линзе с экранированием и без.
7. Какие бывают aberrации электронных линз и способы их уменьшения?
8. Особенности движения потока электронов с учетом пространственного заряда.
9. Физическая природа потенциального барьера на границе металл – вакуум.
10. Контактная разность потенциалов.
11. Основы теории термоэлектронной эмиссии. Плотность термоэмиссионного тока. Распределение скоростей и энергия термоэлектронов.
12. Фотоэлектронная эмиссия. Законы Эйнштейна и Столетова.
13. Что такое спектральные фотохарактеристики?
14. Особенности фотоэмиссии металлов, диэлектриков и полупроводников.
15. Основные принципы автоэлектронной эмиссии.
16. Теория эффекта Шоттки.
17. Взрывная эмиссия.
18. Качественное рассмотрение и теория вторичной электронной эмиссии.
19. Газовый разряд. Качественное описание нелинейной вольт-амперной характеристики разряда.
20. Направленное движение электронов и ионов в газе, дрейф и диффузия.
21. Самостоятельный и несамостоятельный разряд, пробой газа, кривые Пашена.
22. Свойства плазмы. Смысл радиуса Дебая.
23. Методы измерения характеристик плазмы.

## 7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
6	10	20	10	0	0	40	100

### Программа оценивания учебной деятельности студента

*Лекции* (максимум 10 баллов). Оценивается посещаемость, активность студентов на аудиторных занятиях и дискуссиях, умение выделить главную мысль и др.

*Лабораторные занятия* (максимум 20 баллов). Оценивается самостоятельность при выполнении лабораторных работ, грамотность в оформлении отчетов, правильность выполнения и т.д.

*Самостоятельная работа* (максимум 10 баллов). Оценивается самостоятельная работа на аудиторных занятиях, а также качество и количество выполненных рефератов и домашних работ, правильность их выполнения.

*Промежуточная аттестация* (максимум 40 баллов). При освоении дисциплины могут быть использованы следующие формы контроля работы: устный

опрос, коллоквиум, тест, контрольная работа и другие по выбору преподавателя. Итоговая аттестация проводится в форме экзамена.

При проведении промежуточной аттестации  
ответ на «отлично» оценивается от 35 до 40 баллов;  
ответ на «хорошо» оценивается от 25 до 34 баллов;  
ответ на «удовлетворительно» оценивается от 15 до 24 баллов;  
ответ на «неудовлетворительно» оценивается от 0 до 14 баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 8 семестр по дисциплине «Вакуумная и плазменная электроника» составляет 100 баллов.

Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов в оценку (экзамен):

80-100 баллов	«отлично»
60-79 баллов	«хорошо»
40-59 баллов	«удовлетворительно»
0-39 баллов	«не удовлетворительно»

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Щука А. А. ЭЛЕКТРОНИКА В 4 Ч. ЧАСТЬ 1 ВАКУУМНАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА [Электронный ресурс]: Учебник . - 2-е изд., испр. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2016.- 174с. –ЭБС «ЮРАЙТ»

б) дополнительная литература:

1. Щука А.А. Электроника: учеб.пособие /.- 2-е изд. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург,2008. Гриф УМО (7 экз.)
2. Владимиров Г.Г. Физическая электроника. Эмиссия и взаимодействие частиц с твердым телом [Электронный ресурс]. - Москва: «Лань», 2013. – ЭБС «ЛАНЬ»
3. Умрихин В.В. Физические основы электроники [Электронный ресурс]: Учебное пособие /.- Москва: Альфа - М; - Москва: ООО «Научно- издательский центр ИНФРА-М», 2012.-304с.- ЭБС «ИНФРА-М»
4. Сушков А.Д. Вакуумная электроника. Физико-технические основы. СПб.- М.-Краснодар: Лань, 2004.- 462 с. (64 экз.)

в) рекомендуемая литература:

1. Жеребцов И.П. Основы электроники.-Ленинград:Энергоатомиздат, 1989.(1экз.)
2. Девятков А.М., Шибков В.М. Элементарные процессы и кинетика низкотемпературной плазмы: учеб. пособие/;. – Москва: Изд-во Моск.ун-та, 1992 (1 экз.)
3. Месяц Г.А. Эктоны. – Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994 (1 экз.)

г)программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. OS MS Windows XP
2. Adobe Acrobat Reader

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Щука А. А. ЭЛЕКТРОНИКА В 4 Ч. ЧАСТЬ 1 ВАКУУМНАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА [Электронный ресурс] : Учебник. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Издательство Юрайт, 2016. - 174 с. – ЭБС «ЮРАЙТ»

б) дополнительная литература:

1. Щука А. А. Электроника: учеб. пособие /. - 2-е изд. - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2008. Гриф УМО (7 экз.)
2. Владимиров Г. Г. Физическая электроника. Эмиссия и взаимодействие частиц с твердым телом [Электронный ресурс]. - Москва : Лань", 2013. - ЭБС "ЛАНЬ"
3. Умрихин В. В. Физические основы электроники [Электронный ресурс] : Учебное пособие /. - Москва : Альфа-М ; Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2012. - 304 с. – ЭБС «ИНФРА-М»
4. Сушков А.Д. Вакуумная электроника, Физико-технические основы. СПб. – М. – Краснодар: Лань, 2004. – 462 с. (64 экз.)

в) рекомендуемая литература:

1. Жеребцов И. П. Основы электроники. - Ленинград : Энергоатомиздат, 1989. (1 экз.)
2. Девятов А. М., Шибков В. М. Элементарные процессы и кинетика низкотемпературной плазмы: учеб. пособие / ; . - Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1992 (1 экз.)
3. Месяц Г. А. Эктоны. - Екатеринбург : УИФ "Наука", 1994(1 экз.)

г) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. OS MS Windows XP
2. Adobe Acrobat Reader
3. MS Office 2007
4. Учебно-методические материалы по курсу <http://www.sgu.ru/ie/ncl/5>
5. Анисимов М.М. Физическая электроника. Учебное пособие [http://www.tula.net/tgpu/anisimov2/anis\\_01.htm](http://www.tula.net/tgpu/anisimov2/anis_01.htm)
6. Интернет-ресурс [www.lib.homelinux.org](http://www.lib.homelinux.org)
7. Сайт СГУ (система управления электронными образовательными ресурсами Moodle) <http://course.sgu.ru>

## §. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Учебные пособия:
2. ~~Слайды с презентациями лекций:~~
3. ~~Компьютерные демонстрации:~~
4. Экспериментальные учебно-научные лаборатории, оборудованные макетами электронно-волновых систем и измерительным оборудованием.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению "Электроника и нанoeлектроника" и профилем подготовки «Приборы микро- и нанoeлектроники, методы измерения микро- и наносистем».

11.02.04

3. MS Office 2007
4. Учебно-методические материалы по курсу <http://www.sgu.ru/ie/nel/5>
5. Анисимов М.М. Физическая электроника. Учебное пособие [http://www.tula.net/tgpu/anisimov2/anis\\_01.htm](http://www.tula.net/tgpu/anisimov2/anis_01.htm)
6. Интернет-ресурс [www.lib.homelinux.org](http://www.lib.homelinux.org)
7. Сайт СГУ (система управления электронными образовательными ресурсами Moodle) <http://course.sgu.ru>

## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Экспериментальные учебно-научные лаборатории, оборудованные макетами электронно-волновых систем и измерительным оборудованием.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.03.04. "Электроника и нанoeлектроника" и профилю подготовки «Приборы микро- и нанoeлектоники, методы измерения микро- и наносистем».

Автор(ы):

к.ф.-м.н., доцент кафедры электроники,  
колебаний и волн

И.С. Ремпен

Программа разработана в 2014 году (одобрена на заседании кафедры электроники, колебаний и волн от 21.10. 2014 года, протокол № 15).

Программа актуализирована в 2016 году (одобрена на заседании кафедры электроники, колебаний и волн от 18.10. 2016 года, протокол № 10).

Подписи:

Зав. кафедрой  
электроники, колебаний и волн

Д.И. Трубецков

Декан факультета  
нелинейных процессов

Ю.И.Лёвин

Декан факультета  
нано- биомедицинских технологий

С.Б. Вениг