



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ИНЖЕКЦИОННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

Кафедра физической электроники

Образовательная программа  
11.04.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль подготовки:  
Физическая электроника

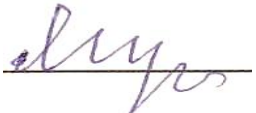
Уровень высшего образования  
магистратура

Форма обучения  
Очная

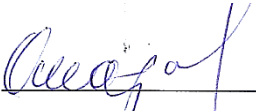
Статус дисциплины:  
вариативная

Махачкала -2017


Рабочая программа дисциплины «Инжекционная электроника» составлена в 2017 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки **11.04.04-** Электроника и наноэлектроника, (уровень высшего образования – магистратура) Приказ министерства образования и науки РФ от 30 .10 .2014 г. № 1407).

Разработчик: кафедра физической электроники, Мутаева Г.И., к.ф.-  
м.н., доцент 

Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры физической электроники от «22» марта 2017г., протокол № 8

Зав.кафедрой  Омаров О.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета  
от «30» марта 2017г., протокол № 7.

Председатель  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением « 30 » марта 2017 г.

Начальник УМУ  А.Г.

### Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Инжекционная электроника» входит в вариативную часть образовательной программы магистратуры по направлению 11.04.04. Электроника и наноэлектроника. Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой физической электроники.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, касающихся энергетических характеристик разрядов с инъекцией электронов и влиянием электрической цепи на них, также рассматриваются проблемы неустойчивостей, возникающих в объёмных разрядах.

Дисциплина нацелена на формирование общепрофессиональных (ОПК) и профессиональных компетенций (ПК).

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции 12 ч, лабораторные занятия 26 ч, самостоятельная работа 70 ч, в том числе 36 часов на экзамен. Общая трудоёмкость 144 часа.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости: выступления с докладами, обзор последних публикаций в реферативном журнале физики, написание и защита реферата, экзамен.

Объём дисциплины 4 зачетных единицы, в том числе в академических часах 144 по видам учебных занятий

Семестр	Учебные занятия, в том числе					СРС, в том числе экзамен	Форма промежуточной аттестации
	Контактная работа обучающихся с преподавателем						
	Всего	из них					
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации	

10	144	12	26	0	36		70	Отчеты студентов, выступления с обзором статей, рефераты, эссе
----	-----	----	----	---	----	--	----	--

### 1. Цели освоения дисциплины

Знакомство с результатами исследований объемных разрядов высокого давления, поддерживаемых пучком электронов, и применение их в приборах инжекционной электроники, в том числе и в газовых лазерах.

Изучение проблем неустойчивостей объёмных разрядов поможет студентам получить более глубокие знания по физике газового разряда с инжекцией электронов, которые могут быть использованы в дальнейшей учебной и трудовой деятельности магистров.

#### Задачи дисциплины

- Сформировать четкое представление о физических процессах, происходящих в разрядах с инжекцией электронного пучка.
- Ознакомить с результатами экспериментальных исследований импульсных объемных разрядов высокого давления, поддерживаемых пучком быстрых электронов, инжектируемых в объем газового разряда.
- Расширить знания об ионизации газов быстрыми электронами, о контракции и энергетических характеристиках объемных разрядов.
- Показать, что, несмотря на внешнее сходство разрядов с накалимым катодом и разрядов с инжекцией быстрых электронов, между ними существует принципиальное различие, позволяющее использовать последних в наносекундном диапазоне.
- Ознакомить магистров с разрядами, инициирование которых осуществляется инжекцией быстрых электронов в полость газа, и показать их преимущества перед разрядами с накаленным или, облучаемыми УФ - излучением, катодами.

Объем дисциплины 4 з. е., в том числе в академических часах по видам учебных занятий:

### 2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры

Дисциплина «Инжекционная электроника» входит в *вариативную* часть образовательной программы магистратуры по направлению 11.04.04. Электроника и наноэлектроника и является обязательной, проводится в 10 семестре. На лекционных занятиях магистранты получают основы теоретических знаний. Проводимые лабораторные занятия дополняют теоретические знания по разным разделам дисциплины, вырабатывают способности магистрантов к обсуждению важных вопросов и выработке принципиальных решений по отдельным разделам дисциплины. Рабочая программа по дисциплине «Инжекционная электроника» составлена в соответствии с требованиями паспорта специальности 11.04.04 – «Электроника и наноэлектроника» на основании Федерального государственного образовательного стандарта Высшего профессионального образования и учебных программ по основной образовательной программе подготовки магистров по профилю физическая электроника.

За время изучения данного курса магистранты знакомятся с теоретическими знаниями, учатся обсуждать научные проблемы, касающиеся предмета данного курса и закрепляют навыки по проведению экспериментальных исследований, выполненных экспериментаторами-учеными. На лекционных занятиях обучающиеся получают основы теоретических знаний о процессах, происходящих в объеме газа высокого давления. На

лабораторных занятиях приобретают навыки проведения эксперимента и расчёта значений изучаемых величин.

Для освоения данной дисциплины необходимы знания, полученные при изучении классических разрядов, инициируемых ультрафиолетовым излучением, чтобы легко можно было указать, чем вызвано особое внимание на изучение разрядов с инъекцией электронов и в чем их преимущества. Знания, приобретённые при освоении дисциплины «Инжекционная электроника» помогут в будущем при освоении физики не только электрических разрядов, но и физики плазмы. Предлагаемый курс завершает специальные курсы «Введение в специальность» и «Вакуумная и эмиссионная электроника».

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

ОПК-1 Способность понимать основные проблемы в инжекционной электронике, выбирать методы и средства их решения.

ОКП-3 Способность демонстрировать навыки работы в коллективе, порождать новые идеи (креативность).

ОПК-5 Готовность оформлять, представлять, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы.

Компетенции	Формулировка компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
ОПК-1	Способность понимать основные проблемы разрядов, инициируемых пучком быстрых электронов и вести поиски новых методов и способов их решения.	<b>Знать:</b> теоретические и методологические основы в областях физической, вакуумной и эмиссионной электроники и квантовой теории твердого тела. <b>Уметь:</b> применять полученные знания для решения проблем эмиссионной и инжекционной электроники. <b>Владеть:</b> культурой научного исследования с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий.
ОКП-3	Способность демонстрировать навыки работы в коллективе, порождать новые идеи (креативность)	<b>Знать:</b> существующие методы научных исследований в области инжекционной электроники; <b>Уметь:</b> не только применять их в своей образовательной и профессиональной деятельности, но и творить новые идеи; <b>Владеть:</b> навыками коллективной научной работы
ОПК-5	Готовность оформлять, представлять, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы.	<b>Знать:</b> современные методики проведения научных исследований в инжекционной и эмиссионной электронике и методы компьютерного моделирования для анализа и проведения расчёта экспериментальных исследований. <b>Уметь:</b> применить эти методы для написания статей и докладов на конференции, рефератов, анализировать современную научную информацию по своей теме; <b>Владеть:</b> современной методикой экспериментальных и теоретических исследований и компьютерной графикой.

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 4 з.е.: 38 академических часов: 12 лекционных, 26 лабораторных, 70 часов на самостоятельную работу, в том числе 36 на экзамен. Общая трудоёмкость 144 часа.

Программа магистратуры ориентирована:

- 1) на научно- исследовательскую деятельность;
- 2) на профессиональную педагогическую деятельность как основной вид деятельности;
- 3) программу академической магистратуры.

Выпускник, освоивший программу магистратуры после её окончания должен решать следующие задачи:

- 1) разработка научных программ проведения научных исследований и технических разработок, подготовка отдельных заданий для исполнителей;
- 2) сбор, разработка, анализ и систематизация научно-технической информации по теме исследования, выбор методик и средств решения задач;
- 3) подготовка научно-технических отчётов, обзоров, рефератов, публикаций по результатам выполненных исследований, подготовка и представление докладов на научные конференции и семинары.
- 4) работа в качестве преподавателя в профессиональных образовательных организациях и образовательных организациях высшего образования по учебным дисциплинам предметной области данного направления под руководством профессора, доцента или ст. преподавателя;
- 5) участие в разработке учебно-методических материалов для студентов по дисциплинам предметной области данного направления;
- 6) участие в модернизации или разработке новых лабораторных практикумов по дисциплинам профессионального цикла.

Областью профессиональной деятельности выпускников, освоивших программу магистратуры по направлению электроника и наноэлектроника, является: теоретическое и экспериментальное исследование электронных приборов, устройств, установок вакуумной, плазменной, твердотельной, микроволновой, оптической микро – и наноэлектроники различного функционального назначения

#### 4.2. Структура дисциплины.

№ п / п	Разделы и темы дисциплины	Семестр 10	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практ. зан.	Лабораторн ые занятия	Контроль самост. раб.		
<b>Модуль 1</b>									
1	Фундаментальные процессы в стационарном разряде. Кинетическая теория однородного газа			2		4	6	6	Отчет по выполненной работе

2	Амбиполярная диффузия. Соотношение Эйнштейна			2		4	6	6	Выступления со статьей по выбранной теме
	Итого за модуль 1	36		4		8	12	12	
<b>Модуль 2</b>									
3	Общее описание разряда с инжекцией электронов.			2		4	6	6	Участие в диспуте на занятии
4	Плазма разряда с инжекцией электронов.			2		4	6	6	Отчет по выполненной работе
	Итого за модуль 2	36		4		8	12	12	
<b>Модуль 3</b>									
5	Энергетические характеристики разрядов с инжекцией электронов			2		4	6	6	Выступления на выбранную тему
6	Влияние параметров цепи на ее характеристики.			2		6	6	4	Обсуждение статьи
	Итого за модуль 3	36		4		10	12	10	
<b>Модуль 4 (подготовка к экзамену)</b>									
	Всего за модуль 4	36						36	
	Всего за семестр	144		12		26	36	70	

#### 4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

##### Фундаментальные процессы в разряде с инжекцией электронов

**Лекция 1.** Кинетическая теория однородного газа. Упругие и неупругие столкновения. Поглощение и испускание излучения. Диффузия заряженных частиц. Соотношение Эйнштейна. Амбиполярная диффузия. Диффузия поперек магнитного поля. Уравнения гидродинамики. Подвижность заряженных частиц. **Лекция 2.** Стационарный тлеющий разряд при низком давлении. Катодная область, Второе катодное свечение и фарадеево темное пространство. Положительный столб разряда. Анодное падение. Тлеющий разряд при высоком давлении. Теории катодной эмиссии. Свойства плазмы столбов газового разряда. Дебаевское экранирование. Характерное время и время релаксации. Характерные признаки плазмы газовых разрядов. Параметры плазмы. Деионизация плазмы. Электрические колебания в плазме.

**Лекция 3.** Описание разряда с инжекцией электронного пучка.

Приэлектродные области объемного разряда. Катодная область. Анодная область. Столб разряда. Основные уравнения. Неоднородная ионизация газа по глубине. Ионизация и возбуждение газа электронным пучком. Процессы взаимодействия электронов с веществом, Однократное рассеяние. Многократное рассеяние. Неупругие столкновения. Потери энергии. Сечение ионизации и возбуждения. Элементы теории переноса электронов. Уравнение переноса. Распределение поглощенной энергии. Угловые и энергетические спектры электронов. Пробег электронов. Термализованные электроны. Распределение энергии электронного пучка в газовом зазоре. Влияние разделительной фольги на распределение поглощенной энергии.

**Лекция 4.** Средняя энергия образования частиц плазмы. Энергетические характеристики разрядов с инжекцией электронов. Характеристики несамостоятельных разрядов. Разряд, инициируемый электронным пучком. Разряд с ионизационным размножением.

**Лекция 5.** Влияние параметров электрической цепи на характеристики разряда. Несамостоятельный разряд. Влияние параметров RC – и LC-цепей разряд. Объемный разряд, проблемы неустойчивости.

**Лекция 6.** Проблема устойчивости горения объемных разрядов. Взрыво - эмиссионная модель возникновения катодного падения. Катодная неустойчивость. Условия возникновения взрывной эмиссии. Экспериментальные результаты по наблюдению катодных пятен в наносекундных разрядах. Формирование катодных и анодных пятен при наличии загрязнений на поверхности электродов. Развитие искрового канала после возникновения катодного пятна. Модели развития искрового канала. Объемные разряды с большой длительностью горения. Переход объемного разряда в искровой разряд при неоднородном распределении электрического поля в столбе. Неоднородная ионизация промежутка. Неоднородное распределение поля, вызванное прилипательной и доменной неустойчивостями.

## 5. Образовательные технологии

Технологии процесса обучения дисциплине «Инжекционная электроника» включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- а) аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения);
- б) самостоятельная работа студентов;
- г) контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончанию;
- д) учебная практика;
- е) экзамен.

В учебном процессе используются как активные, так и интерактивные формы проведения занятий: дискуссия, разбор конкретных ситуаций.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор). Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

**Самостоятельная работа** организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

### **Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:**

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Инжекционная электроника» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность магистров.

• В рамках учебных курсов по возможности предусмотрены, мастер-классы экспертов и специалистов.

## 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы магистрантов.

Задания для самостоятельной работы

Разделы и темы для самостоятельного изучения.	Виды и содержание самостоятельной работы.
Квазичастицы в твердом теле, параметры и	Выступление на занятии.



характеристики.	
Электрон – главное действующее лицо в физической электронике.	Выступление на студенческом семинаре.
Обсуждение научной статьи «Формирование плазменных стримеров в газах высокого давления». Материалы 6-й всесоюзной конференции по физической электронике, 2010. с.19 – 35.	Выступление на научно-студенческом семинаре «Электрон», функционирующем на кафедре физической электроники.
«Страты в плазме наносекундного разряда с щелевым катодом в магнитном поле» - статья Ашурбекова Н.А. и др., опубликованная в материалах 6-й Всероссийской конференции по физической электронике. Махачкала: изд. ДГУ 2010.с.90 - 93	Обсуждение в группе.
Обсуждение статьи «кинетика процессов в плазме объемного разряда в гелии», материалы 6-й Всероссийской конференции по физической электронике. Махачкала: изд. ДГУ. 2010. с.88 - 90	Обсуждение в группе.
«Особенности начальных стадий формирования импульсного объемного разряда в гелии высокого давления». Материалы 6-й Всероссийской конференции по физической электронике. Махачкала: изд. ДГУ. 2010. с.54 -59	Обсуждение в группе.
Лазерно – индуцированные эффекты с участием метастабильных атомов неона в плазменных волноводах. Материалы 6-й Всероссийской конференции по физической электронике. Махачкала: изд. ДГУ. 2010. с.73-77	Обсуждение в группе.

### Темы предполагаемых рефератов и эссе

1. Явления, в которых излучение проявляет корпускулярные свойства.
2. Явление туннельной эмиссии.
3. Природа контактной разности потенциалов и практические методы ее определения.
4. Причины возникновения взрывной эмиссии.
5. Катодное распыление и экспериментальные методы его определения.
6. Автоэлектронная и взрывная эмиссии, сопутствующие возникновению катодного пятна.
7. Применение вторичной эмиссии в электронике.
8. Свойства газоразрядной плазмы, отличающие её от термической плазмы.
9. Электрон – главное действующее лицо в электронике.

**Реферат** пишется с использованием научной и научно-популярной литературы, периодических изданий - научных журналов. Оформляется по традиционной схеме с титульным листом, содержанием, целями и задачами исследования, заключением, выводами, списком использованной литературы.

### Справочные данные к лекции 1.

1.  $m\bar{c}^2 = \frac{3RT}{n_0V_0}$  – средняя кинетическая энергия частиц газа, где  $n_0V_0$  – число частиц в одном моле газа, равное числу Авогадро.
2.  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ .
3.  $K = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} = 8,6 \cdot 10^{-5} \frac{\text{эВ}}{\text{К}}$  - универсальная постоянная, отнесенная к одной частице.

4. Средняя кинетическая энергия на одну частицу при комнатной температуре равна 0,04 эВ.

5.  $\lambda = \frac{1}{d^2 \sqrt{2n\pi}}$  – длина пробега частиц газа.

6.  $\lambda = \frac{4}{\pi n d^2}$  – дли на свободного пробега электрона.

7.  $\tau = \frac{\lambda}{c} = \frac{\lambda}{\lambda \nu} = \frac{1}{\nu}$  - время между соударениями, где  $\nu$ - частота столкновений.

8.  $\mu = \frac{U_d}{E} = \frac{e}{mv} = \frac{e\lambda}{mc}$  – подвижность заряженных частиц в газе.

9.  $U_d = \mu E$  – дрейфовая скорость заряженных частиц в газе.

10.  $J = J_e + J_i$  – плотность тока, переносимого электронами и ионами в газе, где  $J_e = neU_{de}$  – плотность электронного тока,  $J_i = neU_{di}$  – плотность ионного тока в газе.

11.  $J = neE(\mu_e + \mu_i)$  – плотность тока, переносимого электронами и ионами, выраженная через их подвижности.

12.  $\sigma = \frac{J}{E} = \frac{neE(\mu_e + \mu_i)}{E} = ne(\mu_e + \mu_i)$  – коэффициент электропроводности газа.

13.  $\sigma_e = ne\mu_e = \frac{ne^2}{mv}$  – коэффициент проводимости электронного тока.

14.  $\Gamma = -D \frac{dn}{dx}$  - скорость потока частиц в направлении X.

15.  $D = \frac{\lambda c}{3}$  – коэффициент диффузии.

16.  $\frac{dn}{dt} = \nabla^2(Dn)$  – трехмерное уравнение диффузии.

17.  $\frac{D_i}{\mu_i} = \frac{4kT}{3e}$  – соотношение Эйнштейна.

18.  $D_a = \frac{D_e\mu_i + D_i\mu_e}{\mu_e + \mu_i}$  – коэффициент амбиполярной диффузии

19.  $E = \frac{1}{n} \cdot \frac{dn}{dl} \left( \frac{D_e - D_i}{\mu_e + \mu_i} \right)$  – электрическое поле при амбиполярной диффузии.

20.  $D_{\perp} = \frac{D_e}{(1 + \omega_e^2 \tau^2)}$  – диффузия электронов поперек магнитного поля, где

21.  $\omega_c = \frac{em}{B}$  - циклотронная частота,  $\tau = \frac{1}{\nu}$  время между столкновениями.

22.  $D_{eB} = \frac{D_e \omega_c \tau}{(1 + \omega_c^2 \tau^2)}$  - диффузия при скорости дрейфа, перпендикулярной как к индукции магнитного поля B, так и к градиенту давления  $\nabla P_e$ .

23.  $\omega_c \tau = \mu B$  - параметр Холла.

### Справочные данные к лекции 2.

1.  $\rho_m \frac{d\vartheta}{dt} = [xB] - \nabla P$  - уравнение сохранения импульса, или баланс сил в плазме.

2.  $\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \nabla(\rho_m \vartheta) = 0$  – закон плотности жидкости, где  $\rho_m$  - плотность массы жидкости.

3.  $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla J = 0$  - закон сохранения заряда где  $\rho$  - плотность заряда.

$$\left( \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} \right) dx dy dz = \frac{\rho}{\epsilon_0} dx dy dz$$

$$diVE = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} \rightarrow diVE = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = - \left( \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \right) \rightarrow \Delta U = - \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$E_x = - \frac{\partial U}{\partial x}; \quad E_y = - \frac{\partial U}{\partial y}; \quad E_z = - \frac{\partial U}{\partial z}$$

4.  $\frac{E}{N}$  – параметр, эквивалентный  $\frac{E}{P}$ , использованный впервые Таунсендом – пионером в области газовой электроники и выраженный в единицах (Тд), носящий его имя Тд. Обычно  $E$  выражают в Вольтах на сантиметр, но поскольку  $N$  – концентрация молекул – всегда очень большое число (при давлении 1 мм рт. ст. и  $T = 293$  К имеет значение  $N = 3,3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ), величина  $E/N$  ( $\text{В} \cdot \text{см}^2$ ) очень мала и  $\sim 10^{-17}$ , что очень неудобно для расчетов. Поэтому оказалось более удобным выражать величину  $E/N$  в единицах, равных  $10^{-17} \text{ В} \cdot \text{см}^2$ . Эта единица названа Таунсендом. Для перехода от параметра  $E/P$  к параметру  $E/N$ , выраженному в Таунсендах, используется соотношение между ними:  $\frac{E}{N} (\text{Тд}) = 3,03 \left(\frac{E}{P}\right)$ , где  $E$  выражено в  $\text{В} \cdot \text{см}^{-1}$ ,  $P$  выражено в мм рт. ст., а  $T=293$  К.

Параметр представляет собой важную величину, так как многие величины, как например, скорость дрейфа, скорость диффузии и другие являются функциями от этого параметра. Параметр  $E/N$  показывает число ионизаций, приходящихся на один электрон в течение одной секунды. (Хаксли Л. Кромптон Р.- Диффузия и дрейф электронов в газах. Москва:- Мир-1977. 672 с. Перевод с английского под редакцией А.А Иванова.)

5.  $V_c$ - катодное падение потенциала, связанное с минимальным напряжением пробоя.

6.  $P \cdot d_c$  – параметр, близкий к пашеновскому минимуму напряжения пробоя, при котором необходимая для поддержания тока ионизация происходит в катодной области при минимальной возможной разности потенциалов. При  $Pd = (Pd)_{\text{min}}$  газовая трубка имеет оптимальную длину и поэтому полностью занята катодной областью. Величины  $P$  и  $d_c$  являются взаимно обратными величинами, а произведение постоянно.

7.  $\lambda_D = \sqrt{\frac{2kT\varepsilon_0}{n_e e^2}}$  - дебаевский радиус – расстояние, на которое нужно развести заряды, чтобы потенциальная энергия заряженной частицы в возникающем при полном разделении зарядов поле сил была того же порядка величины, что и средняя энергия хаотического движения.

8.  $\nu_e = 8980 n^{1/2}$  - частота электронных колебаний, возникающих в плазме для обычно встречающихся на опыте значений концентраций электронов соответствует дециметровым волнам ( $10^9 - 10^8$ ) Гц

9.  $t_p = \frac{\lambda_D}{C} \approx \frac{1}{\omega} \approx \sqrt{\frac{m\varepsilon_0}{n_e e^2}}$  - время, необходимое плазме для достижения равновесия при нарушении ее нейтральности.

### Справочные данные к лекции 3.

1.  $\Psi_i = \alpha U_d$ - скорость ионизации газа электронами пучка, где  $\alpha$  -первый коэффициент Таунсенда,  $U_d$  – дрейфовая скорость электронов. Учитывая, что  $U_d = \mu E$  и  $\beta = \frac{\alpha}{E}$  - коэффициент ионизации ионами, получаем  $\Psi_i = \beta \mu_e E^2$
2.  $q$  – скорость термализации, при которой энергии инжектируемых электронов сравниваются с тепловой энергией частиц газа.
3.  $\frac{q}{\Psi} \sim \frac{\varepsilon}{T}$ , где  $\varepsilon$  -средняя энергия, затрачиваемая на образование одной электронной пары,  $T$  – средняя энергия электронов пучка.

4.  $\Psi(x) = \frac{J_n D(x)}{e\varepsilon}$ , где  $J_n$ -плотность тока пучка инжектируемых электронов;  $D(x)$  – распределение потерянной энергии в газе по длине промежутка в расчете на один электрон, зависящее от начальной энергии электронов пучка и от напряженности поля в газовом зазоре.

5.  $\frac{d^2U}{dx^2} = -\varepsilon_0\rho$  -уравнение Пуассона.

6.  $\frac{d\rho}{dt} + \text{div}(\rho v) = 0$  -уравнение непрерывности

7.  $\frac{dn_-}{dt} - \frac{d(n_-v_-)}{dx} = \alpha v_- n_- - \beta n_- n_+ + \Psi + q$  – уравнения баланса частиц в столбе газового разряда.

8.  $v_- = \mu_- E$  – скорость дрейфа электронов.

9.  $v_+ = \mu_+ E$  – дрейфовая скорость положительных ионов.

10.  $U_k = f_1(J/P^2)$ ;  $\frac{E_k}{P} = f_2(J/P^2)$ ;  $P \cdot l_k = f(J/P^2)$  – законы подобия для параметров прикатодного слоя.

11.  $\gamma \left[ \exp\left(\int_0^l \alpha dx\right) - 1 \right] = 1$  -условие самостоятельности, принятое в теории классического тлеющего разряда.

12.  $t_n < \frac{1}{2(\Psi\beta^{1/2})}$  - условие существования нестационарного разряда или разряда инициируемого пучком электронов.

13.  $t_n > \frac{1}{2(\Psi\beta^{1/2})}$  – условие существования квазистационарного разряда.

14.  $\Psi + \beta n^2 = 0$  – уравнение баланса частиц в квазистационарном режиме.

15.  $dn = 4\pi n \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} \cdot e^{-\frac{mc^2}{2kT}} \cdot C^2$  – максвелловское распределение частиц газа по скоростям.

16.  $C = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$  – среднеквадратичная скорость частиц газа.

17.  $\frac{n_j}{n_k} = \frac{g_j}{g_k} \cdot \frac{\exp(-\varepsilon_j/kT)}{\exp(-\varepsilon_k/kT)}$  – бoльцмановское распределение внутренней энергии частиц газа, где  $n_j$  и  $n_k$  -числа частиц ансамблей с соответствующими энергиями,  $g_j$  и  $g_k$  – статистические веса соответствующих уровней.

18.  $f_1 f_2 = f_1' f_2'$  - условие, достаточное для поддержания равновесия с помощью столкновений. Оно является следствием симметричности функции распределения Максвелла.

19. ЛТР – локальное тепловое равновесие, такое состояние, в котором все равновесные соотношения за исключением излучения, применимы к каждой пространственной точке.

20.  $\frac{\lambda dT}{dr} \ll T$ ;  $\frac{\lambda dn}{dr} \ll n$ ;  $eE\lambda \ll kT$  – соотношения, при выполнении которых выполняется ЛТР.

#### Справочные данные к лекции 4.

$\varepsilon_i = \frac{T_0}{N_i}$  – энергия, при потере которой ионизационный каскад в газе образует один электрон.

$\varepsilon_k^* = \frac{T_0}{N_k^*}$  - энергия, теряемая на возбуждение электронных, колебательных уровней и при упругих столкновениях

$A^* + B \leftrightarrow B^+ + A$  - уравнение безызлучательной пеннинговской ионизации.

$t_n \gg t_c$  - условие возникновения разряда, поддерживаемого электронным пучком  $t_n$  - длительность пучка электронов,  $t_c$  - время установления стационарной концентрации.

$t_n \approx t_c$  - условие существования разряда, инициируемого электронным пучком.

$\alpha v n \ll \Psi$  - разряд несамостоятельный

$\alpha v n \sim \Psi$  - разряд с ионизационным размножением.

$\alpha v n \geq \Psi$  - разряд с ионизационным размножением.

$\frac{dn}{dt} = \Psi - \beta n^2$  - уравнение баланса электронов в предположении, что электроны рождаются в процессе ионизации газа электронным пучком, а гибнут в результате диссоциативной рекомбинации.

$e + O_2 \rightarrow (O_2^-) \rightarrow O + O^- + \text{кин. эн.}$  - пример диссоциативной рекомбинации.

$\sqrt{\frac{\Psi}{\beta}} = n_c$  - стационарная концентрация электронов.

$0,5 \sqrt{\Psi \beta} = t_c$  - характерное время установления стационарной концентрации.

$i = \sqrt{\frac{\Psi}{\beta}} \cdot e \mu U_0 S / d$  - вольтамперная характеристика разряда в стационарном режиме.

$\rho = (n_0 e \mu)^{-1}$  - удельное сопротивление плазмы.

$W = J E_0 t_n = e \mu (\Psi / \beta)^{1/2} E_0^2 t_n$  - удельный энергосклад несамостоятельного разряда.

$n_0 = (\Psi / \beta)^{1/2}$  - концентрация электронов в газе, которая устанавливается к моменту окончания инжекции пучка электронов при  $t_n = t_c$ .

$n_0 = \Psi t$  - концентрация электронов в случае малых интенсивностях пучка  $t_n \ll t_c$

Формулы соответственно для концентрации электронов, разрядного тока и энергии, вводимой в разряд, при небольших напряженностях поля, когда можно пренебречь ударной ионизацией.

$$n(t) = \frac{n_0}{1 + n_0 \beta t}; \quad j(t) = e n(t) \mu E;$$

$W = e (\mu / \beta) E^2 \cdot \ln(n_0 / n_k)$ , где  $n_k$  - концентрация электронов, при которой происходит «погасание» разряда.

19.  $\frac{dn}{dt} = \alpha v n - \beta n^2$  - уравнение баланса электронов в разрядах с ионизационным размножением.

20.  $n(t) = \frac{n_c \exp(\alpha v t)}{\exp(\alpha v t) - 1 + n_c / n_0}$  - решение уравнения баланса электронов, где  $n_c = \alpha v / \beta$  - стационарная плотность электронов.

21.  $J = n e v = \frac{\alpha v^2}{\beta} e \approx \frac{\alpha e}{\beta} \mu^2 E^2$  - формула для плотности разрядного тока в разряде с ионизационным размножением.

22.  $\frac{J}{P} \approx \exp\left(0,245 \frac{E}{P}\right) (E/P)^2$  - формула вольтамперной характеристики с учетом того, что  $\mu = \frac{1}{P}$  и  $\beta$  не зависят от поля.

### Справочные данные к лекциям 5 и 6.

$r = \sqrt{L/C}$  - волновое сопротивление, которое оказывает линия электрической цепи распространяющимся волнам напряжения и тока, определяется отношением напряжения к току в любой точке линии, где  $L$  - индуктивность, а  $C$  - емкость единицы длины линии.

$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$  - частота колебательного контура при наличии сопротивления плазмы.

$\frac{R^2}{4L^2} > \frac{1}{LC}$  - режим аperiodического разряда.

$\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{LC}$  - режим периодического разряда.

$R_{кр} = \sqrt{\frac{4L}{C}}$  - сопротивление, при котором колебательный разряд переходит в аperiodический разряд.

$W = \left(\frac{E_0^2 Cd}{2S}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{2t_n}{\tau_3}\right)\right]$  - удельная энергия связи, вводимая в разряд. Здесь  $Cd/S$  имеет смысл емкости, приведенной на единицу газового объема,  $\tau_3 = RC$ -характерное время уменьшения напряжения на электродах газового промежутка.

$U_c = (1 - e^{-t/\tau})$  - зависимость напряжения на обкладках конденсатора от времени с момента включения.

$R = \left(\frac{L}{C}\right)^{1/2}$  - сопротивление, при котором накопительный конденсатор полностью разряжается за время импульса накачки в самосогласованном режиме.

$n_0 \geq \left[\frac{e\alpha E}{4\varepsilon_0}\right]^{3/2} = (10^6 - 10^8) \text{ см}^{-3}$  - абсолютное значение начальной концентрации электронов, необходимое для развития объемного разряда.

$J_a = 1,55 \cdot 10^6 \frac{E_2}{\varphi} \exp\left(-\frac{6,85 \cdot 10^7 \varphi^{3/2}}{E}\right)$  - формула Фаулера- Нордгейма для анодного тока разряда при наличии стационарной автоэмиссии.

$t = \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{j} E$  - время возникновения катодных пятен, благодаря загрязнению поверхности электродов.

$U_s = U_T - n \cdot I_{Ar}$  - падение потенциала у катода, равное полному падению на разряде минус напряжение на плазме, из которого по экспериментально измеренному полному падению напряжения и установленному полному числу страт в объеме разряда можно оценить катодное падение потенциала.

## 7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины «инжекционная электроника» магистрант должен овладеть определенными знаниями, умениями и навыками, как общекультурными, так и профессиональными, таким образом, процесс освоения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВПО по данному направлению:

Компетенция	Знания, умения, навыки	Процедура освоения
ОПК-1	<p><b>Знать:</b> теоретические и методологические основы в областях физической, вакуумной и эмиссионной электроники и квантовой теории твердого тела.</p> <p><b>Уметь:</b> применять полученные знания для решения проблем эмиссионной и инжекционной электроники.</p> <p><b>Владеть:</b> культурой научного исследования с использованием новейших информационно-</p>	Лекция, лабораторные занятия, отчеты по работам, самостоятельная работа с источниками Интернета

	коммуникационных технологий.	
ОПК-3	<b>Знать:</b> существующие методы научных исследований в области инжекционной электроники; <b>Уметь:</b> не только применять их в своей образовательной и профессиональной деятельности, но и творить новые идеи; <b>Владеть:</b> навыками коллективной научной работы	Отчет по выполненной работе с применением презентации, самостоятельная работа с научной литературой
ОПК-5	<b>Знать:</b> современные методики проведения научных исследований в инжекционной и эмиссионной электронике и методы компьютерного моделирования для анализа и проведения расчёта экспериментальных исследований. <b>Уметь:</b> применить эти методы для написания статей и докладов на конференции, рефератов, анализировать современную научную информацию по своей теме; <b>Владеть:</b> современной методикой экспериментальных и теоретических исследований и компьютерной графикой.	Обсуждение научных статей по выбранным темам, самостоятельная работа с источниками Интернета

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.

ОПК-1

Схема оценки уровня формирования компетенции «Способность понимать основные проблемы в инжекционной электронике, выбирать методы и средства их решения»

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	<b>Знать:</b> теоретические и методологические основы в областях физической, вакуумной и эмиссионной электроники и квантовой теории твердого тела. <b>Уметь:</b> применять полученные знания для решения проблем эмиссионной и инжекционной электроники. <b>Владеть:</b> культурой научного исследования с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий.	Сущность фундаментальных процессов, происходящих в классических разрядах	Сущность и сравнительная характеристика классических разрядов с объемными высокими давлениями	Применение знаний для написания статей и рефератов на выбранную тему

ОПК-3

Схема оценки уровня формирования компетенции «Способность демонстрировать навыки работы в коллективе, порождать новые идеи (креативность)»

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично

		о		
Пороговый	<p><b>Знать:</b> существующие методы научных исследований в области инжекционной электроники;</p> <p><b>Уметь:</b> не только применять их в своей образовательной и профессиональной деятельности, но и творить новые идеи;</p> <p><b>Владеть:</b> навыками коллективной научной работы</p>	Выполнение лабораторного задания	Оформление отчета с презентацией по лабораторному заданию	Анализ выполненной лабораторной работы с обоснованными выводами

### ОПК-5

Схема оценки уровня формирования компетенции «Готовность оформлять, представлять, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы».

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	<p><b>Знать:</b> современные методики проведения научных исследований в инжекционной и эмиссионной электронике и методы компьютерного моделирования для анализа и проведения расчёта экспериментальных исследований.</p> <p><b>Уметь:</b> применить эти методы для написания статей и докладов на конференции, рефератов, анализировать современную научную информацию по своей теме;</p> <p><b>Владеть:</b> современной методикой экспериментальных и теоретических исследований и компьютерной графикой.</p>	Знать современные методики выполнения научных исследований по инжекционной и эмиссионной электронике	Умение правильно выполнить и оформить лабораторную работу, реферировать прочитанные научные источники информации	Аргументированно защищать выполненную лабораторную или реферативную работу на выбранную тему

### 7.3. Типовые контрольные задания (вопросы)

#### Вопросы к экзамену

1. Что послужило поводом для изучения разрядов с инжекцией электронов?
2. Перечислить типы стационарных разрядов.
3. Вывести уравнение диффузии заряженных частиц в разряде.
4. Вывести формулу подвижности заряженных частиц в разряде.
5. Вывести формулу коэффициента электропроводности.
6. Показать связь между подвижностью и диффузией заряженных частиц.
7. Какова особенность амбиполярной диффузии.
8. Вывести формулу для напряженности поля при амбиполярной диффузии.
9. Диффузия поперек магнитного поля.
10. Коэффициент диффузии, возникающей при движении частиц со скоростью, перпендикулярной как градиенту давления, так и индукции магнитного поля.
11. Где используется подавление поперечного дрейфа магнитным полем?



12. Нарисовать общую ВАХ стационарного разряда с указанием областей тлеющего и дугового разрядов.
13. Нарисовать график распределения потенциала катодной области от катодного до анодного конца второго темного пространства, напряженности поля и плотности пространственного заряда.
14. Вывести формулу, связывающую плотность положительного пространственного заряда с градиентом напряженности поля.
15. На ком расстоянии от катода создается эффективный анод?
16. Чем объясняется то, что длина темной катодной области обратно пропорциональна давлению?
17. Чем объясняется, что плотность тока в катодной области в режиме нормального тлеющего разряда не зависит  $V_c$ ?
18. Какая из катодных областей тлеющего разряда является определяющей, более значимой?
19. Сформулировать процессы, происходящие, происходящие во втором катодном свечении и фарадеевом пространстве.
20. В чем заключается продуктивность полого катода?
21. Описать процессы, протекающие в положительном столбе-плазме разряда.
22. Чем вызваны неустойчивости, возникающие в плазме газового разряда?
23. К чему сводится влияние высокого давления на нормальный тлеющий разряд?
24. Каков порядок катодного падения потенциала в стационарном тлеющем разряде?
25. Каков порядок падения потенциала дуги в стационарном дуговом разряде?
26. Чему равна диссипация энергии электронов в дуговом разряде?
27. Вывести формулу баланса энергии в стационарном газовом разряде.
28. Что означает локальное тепловое равновесие?
29. Вывести уравнение непрерывности.
30. Вывести уравнение Пуассона.
31. Общее уравнение баланса частиц с учетом таунсендовской ионизации, скорости ионизации, рекомбинации и скорости термализации.
32. Уравнение Таунсенда для случая планарных электродов при условии, что ионизация осуществляется только электронами, вторичные лавины рождаются на катоде под действием фотоэлектронов и положительными ионами.
33. Характеристики приэлектродных областей объемного разряда.
34. Уравнение баланса частиц в квазистационарном режиме при  $\alpha v_p = 0$ ,  $g = 0$ , концентрация положительных и отрицательных ионов одинакова и постоянна во времени и его решение для стационарной концентрации электронов.
35. Зависимость концентрации электронов в столбе от времени в разряде, инициируемом и поддерживаемом электронным пучком.
36. Ионизация и возбуждение электронным ударом.
37. Упругие столкновения электронов. Дифференциальное сечение однократного рассеяния.
38. Распределение Больцмана по уровням населенностей.
39. Принцип детального равновесия
40. Уравнение Саха.
41. Условия, при которых имеет место в газовом разряде ЛТР.
42. Как определяется энергия, при потере которой ионизационный каскад в среднем образует один электрон и от чего она зависит?
43. В чем заключается пеннинговская ионизация?
44. Из каких узлов состоит принципиальная схема для изучения разряда с инъекцией электронов?
45. Какие стадии включает в себя объемный разряд?
46. Перечислить режимы разряда, используемые для возбуждения лазеров.

47. Перечислить основные параметры разрядов с инжекцией электронов.
48. Перечислить стадии разряда высокого давления.
49. Уравнение баланса частиц для случая, когда электроны рождаются в процессе ионизации электронным пучком, а гибнут в процессе диссипативной ионизации.
50. Чем обусловлен переход любого разряда в контрагированный разряд?
51. Вывести выражение для энерговклада и плотности тока для разряда с ионизационным размножением.
52. Каков принцип получения самостоятельных объемных разрядов?
53. Какие стадии включает в себя динамика разряда с ионизационным размножением?
54. Какие меры можно предпринять во избежание контракции разряда?
55. Перечислить отличительные особенности разрядов с инжекцией электронов от традиционных классических разрядов.
56. Волновое сопротивление электрической цепи, питающей газовой разряд.
57. Условие возникновения апериодического разряда
58. Принципиальная схема электрической цепи питания разряда с учетом индуктивности.
59. Оценить сопротивление плазмы газовой разряда.
60. Роль емкости конденсатора электрической цепи в установлении постоянного поля.
61. В каком случае можно сделать расчет схемы, учитывая только разряд емкости на сопротивление плазмы?
62. Каково выражение для удельной энергии, вводимой в разряд за время длительности пучка?
63. Используя зависимость напряжения на обкладках конденсатора от времени, истекающего от момента его включения, выяснить смысл постоянной времени  $\tau$ .
64. При каком соотношении длительности пучка и постоянной времени возникает а) разряд, инициируемый электронным пучком и б) разряд, поддерживаемый пучком?
65. Какое свойство режима апериодического разряда дает возможность реализовать максимальную эффективность лазера?
66. В чем сложность расчета схемы при учете индуктивности цепи L?
67. Каким уравнением можно найти взаимосвязь параметров разряда от величины индуктивности и геометрических размеров газовой промежутка? Получить это уравнение, используя закон Кирхгофа.
68. Произвести анализ соотношения между  $\tau_1$  и  $\tau_2$  в трех точках.

#### **7.4. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Модульно-рейтинговая система оценки учебной и научно – исследовательской деятельности магистра

По учебному плану: общая трудоёмкость 144 часов.

Лекции 12 часов

Лабораторный практикум 26 часов

##### **Лекции:**

посещение занятий	10 бал.
активное участие на занятиях	15 бал.
доклады, рефераты и др.	15 бал.
устный опрос, тестирование, коллоквиум	60 бал.

##### **Лабораторные работы:**

посещение занятий и наличие конспекта	5 бал.
получение допуска к выполнению работы	20 бал.

выполнение работы и отчета к ней	15 бал.
защита лабораторной работы	60 бал.

Шкала диапазона для перевода рейтингового балла в 5-ти бальную систему:

«0 - 50» баллов	неудовлетворительно
«51 -69» баллов	удовлетворительно
«70 - 84» балла	хорошо
«85 - 100» баллов	отлично
«51 и выше» баллов	зачет.

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.**

а) основная литература:

1. Бродский А.М., Гуревич Ю.Я. Теория электронной эмиссии из металлов. М.: Наука, 1973.
2. Бычков Ю. И., Королёв Ю. Д., Месяц Г. А. и др. Инжекционная газовая электроника.- Новосибирск: Наука, 1982.– 537с.
3. Добрецов Л. Н., Гомоюнова М. В. Эмиссионная электроника /Л. Н. Добрецов, М. В. Гомоюнова – М.: Книга по Требованию, 2012. – 266 с.
4. Омаров О. А. Импульсные разряды в газах высокого давления: Учебное пособие. – Махачкала: изд-во «Юпитера», 2001. – 336 с.
5. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. 7-е изд., испр. - СПб.: Изд-во "Лань", 2003. 480 с.
6. Проскуровский Д.И. Эмиссионная электроника. Издательство: Томск: Томский государственный университет. 2010, 288с.
7. Сушков А. Д. Вакуумная электроника – СПб. – М.-Краснодар, 2004. - 462 с.
8. Физическая электроника: Материалы VI Всероссийской конференции ФЭ - 2010 (23-26 сентября 2010). – Махачкала: изд-во ДГУ, 2010. – 290 с.

б) Дополнительная литература:

9. Мутаева Г. И. Лекции по эмиссионной электронике (учебное пособие). – Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2006. - 82 с.
10. Мутаева Г. И. Аджиева Х. И. Классификация и параметры катодов. Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2009. -27 с.
11. Клейнер З.Ю. Основы теории электронных ламп. - М.: «Высшая школа», 1974.

## **9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

1. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/> (единое окно доступа к образовательным ресурсам).
  2. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
  3. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
  4. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>
  5. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
  6. Федеральный центр образовательного законодательства.
  7. <http://www.lexed.ru>
- <http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.

<http://www.phys.spbu.ru/library/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.

<http://www.phys.spbu.ru/library/elibrary/> - некоторые вузовские учебники (электронный вариант).

<http://www.sciencedirect.com> - база данных журналов издательства Эльзевир.

<http://publish.aps.org/> - журналы Американского физического общества

<http://journals.aip.org/> - журналы Американского института физики

<http://aps.arxiv.ru/> - архив электронных препринтов по физике, математике и компьютерным наукам.

## **10. Методические указания для магистрантов по освоению дисциплины**

Для самостоятельной работы по дисциплине «Инжекционная электроника» в библиотеке ДГУ (читальные залы, абонемент) имеется достаточное количество литературы, как и на кафедре физической электроники (монографии, учебные пособия). Поэтому заниматься дополнительно магистрантам будет нетрудно. Рекомендуется материалы занятий прорабатывать в этот же день. При работе с литературой обращать внимание на иллюстрации (рисунки и схемы в учебных пособиях), которые довольно рельефно позволяют понять то, о чем идет речь. Выполняя проработку материала, обратить внимание, что с курсом магистры не знакомы, а лаборатория физической электроники располагает достаточным количеством учебных пособий для самостоятельной проработки материала. Они все приведены в пункте 8 данной программы. В конце курса проводится зачет, в течение которого студенты должны продемонстрировать не только знания, но и умения, навыки, полученные в процессе изучения дисциплины «Инжекционная электроника».

## **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.**

В прилагаемом курсе используются универсальные офисные прикладные программы: *MS PowerPoint*, текстовый процессор *MS Word*, табличный редактор *MS Excel*. При проведении занятий можно использовать компьютерный класс, где есть возможность быстрого доступа ко всем указанным ресурсам. При подготовке тем эссе и рефератов используется технология создания презентаций, что весьма наглядно позволяет обеспечить качественный образовательный процесс.

Для осуществления быстрого поиска информации можно пользоваться ресурсами ИВЦ ДГУ «Электронный университет»: «Электронное обучение *Moodle*», «УМК», «Архив», «Электронный деканат» и др. Также на сайте ДГУ в разделе «Научная библиотека» открыт полнотекстовый доступ к контентам ЭБС *IBooks*, журналу *Science*, издательству *Springer*, консорциуму НЭИКОН, научно-образовательному проекту «Чердак», порталу НЭБ и др.

Технология процесса обучения дисциплине «Инжекционная электроника» включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- а) аудиторские занятия (лекционно-семинарская форма обучения);
- б) самостоятельная работа студентов;
- г) контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончанию;
- д) отчет.

В учебном процессе используются как активные, так и интерактивные формы проведения занятий: дискуссия, метод поиска быстрых решений в группе. Аудиторские занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор) и технологии проблемного обучения. Презентации

позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

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

### 1. Лабораторные приборы и оборудование:

Источники питания, электронные модули для выполнения лабораторных работ, стрелочные приборы (амперметры, микроамперметры, вольтметры), диоды с вольфрамовым и оксидным катодами, стабилитроны тлеющего и коронного разрядов.

2. **Таблицы:** электрические схемы, навешанные над каждым модулем выполняемой работы.

3. Студенческие ноутбуки, электронный проектор по требованию.

4. Калькуляторы для проведения расчётов при выполнении лабораторной работы.

### Список выполняемых лабораторных работ

№/№ и название разделов и тем	Цель и содержание лабораторной работы	Результаты лабораторной работы
<p><b>Лабораторная работа № 1.</b> Исследование термоэлектронной эмиссии</p> <p>9 часов</p>	<p><u>Цель работы:</u> закрепление знаний по термоэмиссии и получение навыков построения характеристик приборов.</p> <p>Работа 1. Режимы отбора катодного тока, анализ закона Ричардсона.</p> <p>Работа 2. Анализ закона степени <math>3/2</math> и возможные варианты его записи.</p>	<p>Отчет по работе содержит:</p> <p>1. Сборку схемы электрической цепи. 2. Таблицу результатов измерений в тетради.</p> <p>3. Графики изученных зависимостей на миллиметровой бумаге 4. Вычисленные значения эмиссионных постоянных и сравнение их со справочными значениями.</p>
<p><b>Лабораторная работа №2.</b> Изучение контактной разности потенциалов</p> <p>9 часов</p>	<p><u>Цель работы:</u> углубление знаний по изучению данного явления, знакомство с экспериментальными методами определения контактной разности потенциалов, получение навыков снятия ВАХ прибора.</p> <p>Работа 1. Определение работы выхода вольфрамового катода.</p> <p>Работа 2. Определение работы выхода оксидного катода.</p> <p>1. Определение контактной разности потенциалов.</p>	<p>Отчет по работе содержит:</p> <p>1. Схему электрической цепи по изучению контактной разности потенциалов.</p> <p>2. Построенные вольтамперные характеристики диода</p> <p>3. Вычисленные значения работ выхода металлического и сложного катодов и сравнение их значений со справочными величинами.</p> <p>4. Определенные по экспериментальным</p>

		зависимостям значения КРП вольфрамового и оксидного катодов. 4. Ошибку измерений.
<p><b>Лабораторная работа №3.</b> Изучение термоэлектронных катодов</p> <p>8 часов</p>	<p><u>Цель работы:</u> знакомство с конструкциями катодов различных типов и сравнение их параметров и характеристик.</p> <p>Работа 1. Сборка схемы электрической цепи.</p> <p>2. Вычисление параметров оксидных и вольфрамовых катодов</p> <p>3. Построение характеристик вольфрамового катода и оксидного катодов.</p> <p>Работа 4. Сравнительная характеристика простых и сложных катодов.</p>	<p>Отчет по работе содержит:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Схему электрической цепи.</li> <li>2. Построенные накаливая и эмиссионная характеристики простых и сложных катодов.</li> <li>3. Вычисленные по экспериментальным данным значения параметров и их сравнительную характеристику.</li> <li>4. Оценку ошибки измерений.</li> </ol>