



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФГБОУ ВО «ИГУ»

**Кафедра общей и космической физики**



**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

**Наименование дисциплины (модуля):** Б1.В.ДВ.09.02 Методы физического эксперимента

**Направление подготовки:** 03.03.02 Физика

**Направленность (профиль) подготовки:** Фундаментальная физика и физика Космоса

**Квалификация выпускника:** бакалавр


**Форма обучения:** очная

Согласовано с УМК:

физического факультета

Протокол № 53 от «17» марта 2026 г.

**Председатель:** д.ф.-м.н., профессор

 Н.М. Буднев

**Рекомендовано кафедрой:**

общей и космической физики

Протокол № 8

от «16» марта 2026 г.

**Зав.кафедрой** д.ф.-м.н., профессор

 Паперный В.Л.

**Иркутск 2026 г.**

## Содержание

<b>I. Цели и задачи дисциплины (модуля)</b> .....	3
<b>II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО</b> .....	3
<b>III. Требования к результатам освоения дисциплины</b> .....	4
<b>IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)</b> .....	5
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов .....	6
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	7
4.3. Содержание учебного материала .....	8
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.....	9
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС) .....	9
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов .....	10
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии) .....	10
<b>V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)</b> .....	11
а) <i>перечень литературы</i> .....	11
б) <i>периодические издания</i> .....	12
в) <i>список авторских методических разработок</i> .....	12
г) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i> .....	12
<b>VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)</b> .....	12
6.1. Учебно-лабораторное оборудование: .....	12
6.2. Программное обеспечение:.....	12
6.3. Технические и электронные средства: .....	13
<b>VII. Образовательные технологии</b> .....	13
<b>VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации</b> .....	13

## **I. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Программа разработана в соответствии с основной профессиональной образовательной программой по направлению 03.03.02 – Физика.

**Цель** курса – целью курса является формирование у студентов навыков самостоятельной работы при осуществлении физических исследований и знакомство с основами методами физического эксперимента. Обучающийся должен научиться оптимальному выбору методов для решения поставленных задач и формулированию выводов при интерпретации и оценке полученных экспериментальных данных.

Для достижения данной цели были поставлены **задачи**:

- расширить объем знаний учащихся, касающихся принципов и методов проведения физического эксперимента, полученных ранее из курса общей физики, познакомиться с основными понятиями вакуумной и плазменной электроники, а также с современными теоретическими представлениями о механизмах процессов, протекающих в вакууме и плазме;
- показать действие фундаментальных физических законов в процессах вакуумной и плазменной электроники;
- изучить физические методы исследований объектов вакуумной и плазменной электроники;
- выработать у студентов навыки обработки экспериментальных данных;
- познакомиться с современными проблемами методов физического эксперимента в вакуумной и плазменной электронике.

Знания и умения, приобретённые при изучении этого предмета, будут востребованы при выполнении дипломных работ и в процессе будущей профессиональной деятельности.

## **II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО**

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1. Она изучается студентами на третьем курсе после освоения большей части курсов общей физики и части курсов теоретической физики.

Входные знания, умения и компетенции студентов, необходимые для изучения дисциплины, определяются их базовыми знаниями, полученными на младших курсах бакалавриата при изучении следующих дисциплин: «Методы математической физики», «Теоретическая физика», «Оптика».

### III. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих компетенций:

- Способен проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта (ПК-2).

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ПК-2	ИДК ПК.2.1 Способен осуществлять выполнение экспериментов и оформление результатов исследований и разработок	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- принципы действия основных методов исследования в физическом эксперименте;</li> <li>- принципы использования физических эффектов в вакууме, плазме и в твёрдом теле в приборах и устройствах вакуумной, плазменной, твердотельной, микроволновой и оптической электроники;</li> <li>- физические законы, лежащие в основе современных методов исследований физики пучков заряженных частиц и плазмы.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить измерения с помощью современного исследовательского оборудования;</li> <li>- обеспечивать сохранение получаемых данных;</li> <li>- обрабатывать полученные в ходе исследования данные;</li> <li>- проводить простейшие измерения параметров различных устройств вакуумной и плазменной электроники.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами обработки и оценки погрешностей результата измерений;</li> <li>- методами экспериментальных исследований параметров и характеристик материалов, приборов и устройств вакуумной, плазменной, твердотельной, микроволновой и оптической электроники и наноэлектроники, современными программными средствами их проектирования и моделирования.</li> </ul>

#### **IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)**

Объем дисциплины составляет 6 зачетных единицы, 216 часа,  
в том числе 124 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 36 аудиторных часов (во время выполнения практических заданий).

Форма промежуточной аттестации: зачёт.

**4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов**

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа	
					Лекции	Семинарские/практические/лабораторные занятия	Консультации		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Раздел 1. Физические методы исследования. Прямая и обратная задача.	5,6	68,6	12		36	0,6	32	Отчёт по лабораторной работе, контрольные вопросы
2	Раздел 2. Вакуумная электроника	5,6	68,8	12		36	0,8	32	
3	Раздел 3. Плазменная электроника.	5,6	62,6	12		34	0,6	28	
	Контроль		16						Опрос с учётом оценок за семестровые лабораторные работы
	КСР								
	<b><u>Итого часов</u></b>		<b>216</b>	<b>36</b>		<b>104</b>	<b>2</b>	<b>92</b>	

#### 4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
5,6	Все темы	Оформление отчета по лабораторной работе	В течение семестра	24	Отчёт	Вся рекомендуемая литература
5,6	ВСЕ ТЕМЫ	Подготовка к защите отчета по лабораторной работе	В течение семестра	68	Ответы на контрольные вопросы	
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				92		

### 4.3. Содержание учебного материала

Содержание разделов и тем дисциплины

#### Раздел 1. Физические методы исследования. Прямая и обратная задача.

Общая характеристика методов. Прямая задача физического метода. Обратная задача физического метода. Классификация методов исследования.

#### Раздел 2. Вакуумная электроника

##### 2.1. Эмиссия заряженных частиц из поверхности твердого тела

- Основы электронной теории твердого тела.
- Природа сил, препятствующих выходу электронов из катода. Потенциальный барьер. Работа выхода.
- Термоэлектронная эмиссия: основной закон (формула Ричардсона – Дэшмана), эффект Шоттки, дробовой эффект.
- Автоэлектронная эмиссия: основной закон (формула Фаулера-Нордгейма), условия его реализации.
- Вторично-электронная и фотоэлектронная эмиссия: основные характеристики, области применения.
- Взрывная эмиссия, характеристики микровыступов на поверхности катода, вакуумный пробой, переход от АЭЭ к ВЭ.

##### 2.2. Движение электронного потока в вакууме

- Движение заряженных частиц в однородном электрическом и магнитном полях. Виды траекторий, дрейф в скрещенных полях.
- Отклонение и фокусировка потока заряженных частиц в однородных полях. Электрические и магнитные линзы, основные параметры, построение изображения, матричная техника.
- Электронный пучок, ограниченный объемным зарядом (закон Чайльда – Ленгмюра).
- Формирование слаботочных электронных пучков: принципы, электростатические электронные линзы и прожекторы.
- Формирование сильноточных электронных пучков. Метод прямолинейной оптики. Пушки Пирса. Распределение потенциала в пучке. Виртуальный катод, условие возникновения, влияние на параметры пучка.
- Динамическое управление электронным потоком, фазовая фокусировка.

##### 2.3. Преобразование энергии электронного пучка в электромагнитное излучение. Типы преобразующих устройств. Устройства на объемных резонаторах. СВЧ- генерация, приборы вакуумной СВЧ электроники: магнетрон, клистрон.

#### Раздел 3. Плазменная электроника

##### 3.1. Ионизованный газ и плазма. Основные понятия

- Квазинейтральность, дебаевское экранирование, степень ионизации, уравнение ионизационного равновесия (формула Саха).
- Элементарные процессы в плазме: кулоновские столкновения, возбуждение и ионизация атомов, упругие и неупругие столкновения, каналы энергопотерь.
- Движение заряженных частиц в неоднородном магнитном поле. Дрейфовое приближение, виды дрейфа. Пример дрейфа: пробочная ловушка.

##### 3.2. Газовые разряды

- Возникновение самостоятельного газового разряда: теория Таунсенда, критерий пробоя, кривые Пашена, вакуумный пробой, искровой пробой.
- Тлеющий разряд в условиях правой ветви кривой Пашена: прикатодная область, положительный столб. ВЧ- разряд.

- Явления переноса в тлеющем разряде: проводимость слабоионизованной плазмы, диффузия, амбиполярная диффузия и подвижность заряженных частиц, электронная теплопроводность.

### 3.3. Сильноионизованная плазма.

3.3.1. Плазма в магнитном поле. Закон Ома в магнитном поле, основные уравнения магнитной гидродинамики. Простейшие случаи решения МГД уравнений.

3.3.2. Кинетическое описание плазмы: функция распределения, кинетическое уравнение, учет столкновений, переход к гидродинамике.

3.4. Излучение плазмы: тормозное, рекомбинационное, линейчатое. Простейшие излучательные модели: ЛТР, корональная

### 3.5. Источники плазменных потоков

3.5.1. Ускорители с замкнутым дрейфом электронов: механизм ускорения, основные параметры, приложения.

3.5.2. Вакуумно-дуговые ускорители металлической плазмы: механизм ускорения, основные параметры, приложения.

3.5.3. Магнетронный разряд: механизм генерации, параметры потока.

### 4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства*	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	3.2, 3.5	Исследование тлеющего разряда	18	практ. задания, собес.	ПК2
2.	3.2	Изучение токопереноса в вакуумном диоде	18	практ. задания, собес.	
3.	2.1.	Изучение термоэлектронной эмиссии	18	практ. задания, собес.	
4	2.2	Движение заряженных частиц в скрещенных полях	18	практ. задания, собес.	
5	3.2, 3.5	Исследование плазмы высокочастотного разряда	16	практ. задания, собес.	
6	3.1, 3.5	Моделирование движения электронов в электрическом и магнитном полях	16	практ. задания, собес.	

### 4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Темы 2.1. - 3.5	Аудиторная	Проведение эксперимента в ходе лабораторной работы	Вся рекомендуемая литература	18
2.	Темы 2.1. - 3.5	Аудиторная	Обработка экспериментальных данных	Вся рекомендуемая литература	10
3.	Темы 2.1. - 3.5	Внеаудиторная/аудиторная	Оформление отчета по лабораторной работе	Вся рекомендуемая литература	32

4.	Темы 2.1. - 3.5	Внеаудиторная	Подготовка к защите отчета по ЛР	Вся рекомендуемая литература	32
----	-----------------	---------------	----------------------------------	------------------------------	----

#### **4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов**

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Самостоятельная работа реализуется:

- 1) Непосредственно в процессе аудиторных занятий, при выполнении лабораторных работ.
- 2) В контакте с преподавателем вне рамок расписания - на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.
- 3) В библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре при выполнении студентом учебных и творческих задач.

Границы между этими видами работ достаточно размыты, а сами виды самостоятельной работы пересекаются. Таким образом, самостоятельная работа студентов может быть как в аудитории, так и вне ее.

#### **4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)**

Курсовые работы не предусмотрены.

**V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)****а) перечень литературы***основная литература*

- 1) Голант, В. Е. Основы физики плазмы [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. Е. Голант, А. П. Жилинский, И. Е. Сахаров. - Москва : Лань, 2011. - 448 с. : ил., граф. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-1198-6
- 2) Галперин, В. А. Процессы плазменного травления и микро- и нанотехнологиях [Электронный ресурс] : учеб. пособие : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по направл. подготовки 210100 "Электроника и микроэлектроника" / В. А. Галперин. - 3-е изд. - ЭВК. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2013. - (Нанотехнологии). - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - 15 доступов. - ISBN 978-5-9963-2129-2.

*дополнительная литература*

- 1) Сушков, А.Д. Вакуумная электроника. Физико-технические основы : Учеб. пособие / А. Д. Сушков. - СПб. : Лань, 2004. - 462 с. : ил. ; 24 см. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Предм. указ.: с.456-457. - Библиогр.: с. 458-459. - ISBN 5-8114-0530-8. - (10 экз.)
- 2) Кожевников, Н. М. Демонстрационные эксперименты по общей физике [Электронный ресурс] / Н. М. Кожевников. - Электрон. текстовые дан. - Москва : Лань", 2016. - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-2190-9
- 3) Савельев, И.В. Курс общей физики в 5-и т [Электронный ресурс] : учеб. пособие / И. В. Савельев = A course in general physics. Т. 2. Электричество и магнетизм. - Электрон. текстовые дан. - Москва : Лань, 2011. - (Лучшие классические учебники) (Классическая учебная литература по физике). - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-1208-2
- 4) Третьяк, Л.Н. Основы теории и практики обработки экспериментальных данных [Электронный ресурс] : Учебное пособие / Л. Н. Третьяк, А. Л. Воробьев. - 2-е изд., испр. и доп. - Электрон. текстовые дан. - Москва : Издательство Юрайт, 2018. - 237 с. - (Университеты России). - ЭБС "Юрайт". - Internet access. - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-534-08623-2

б) *периодические издания*

- нет.

в) *список авторских методических разработок*

1. В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/>) размещены методические материалы и задания по данному курсу

г) *базы данных, информационно-справочные и поисковые системы*

- 1) НБ ИГУ <http://library.isu.ru/ru>
- 2) ЭЧЗ «Библиотех» <https://isu.bibliotech.ru/>
- 3) ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- 4) ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
- 5) ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>

## **VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

### **6.1. Учебно-лабораторное оборудование:**

Лабораторный практикум включает в себя следующее оборудование: установки для исследования тлеющего разряда, токопереноса в вакуумной диоде, термоэлектронной эмиссии, заряженных частиц в скрещенных полях, плазмы высокочастотного разряда. Лабораторная работа «Моделирование движения электронов в электрическом и магнитном полях» представлена в виде виртуальной модели.

Для обработки полученных в ходе эксперимента данных на практических занятиях в лаборатории кафедры имеются компьютеры с соответствующим программным обеспечением (моноблок АЮ IRU T2105 P, 4 ноутбук Lenovo B590).

Имеются списки заданий и методическое руководство в электронном и печатном виде, в том числе в авторском учебном пособии.

### **6.2. Программное обеспечение:**

- 1) Microsoft Word и Excel в составе пакета MS Office. Лицензия на новые версии периодически обновляется Центром новых информационных технологий ИГУ по всему университету.
- 2) LibreOffice. - (freeware). - Условия использования по ссылке: <http://ru.libreoffice.org/about-us/license/>. – бессрочно.
- 3) GNU Octave, version 4.0.0 © 2015. – FREeware. – программа математической обработки данных. – (freeware). – свободное программное обеспечение с открытым кодом.

### **6.3. Технические и электронные средства:**

На аудиторных занятиях студентами для работы со справочными материалами и обработки экспериментальных данных используются компьютеры с соответствующим программным обеспечением (моноблок АЮ IRU T2105 P, 4 ноутбук Lenovo B590).

## **VII. Образовательные технологии**

Курс основан на оригинальных разработках авторов. Проводятся следующие виды занятий: лабораторные работы.

Новые знания студенты получают самостоятельно из методических описаний. Практическим навыкам они обучаются при выполнении лабораторных работ под руководством преподавателя.

В ходе лабораторных работ студент готовит отчет, включающий в себе следующие элементы: описание эксперимента, схема, таблицы экспериментальных данных, осциллограммы (при наличии, в виде скриншотов), ответы на контрольные вопросы.

Студенты выполняют работы небольшими группами, обсуждая последовательность действий, и вместе анализируют полученные результаты. Последовательность выполнения работы задается следующим образом:

- 1) Проводится инструктаж по технике безопасности (на первом занятии).
- 2) Студенты знакомятся с теоретическим материалом.
- 3) Знакомство с перечнем приборов и принадлежностей. Собираение электрической схемы (если нужно), подключение приборов.
- 4) Выполнение эксперимента согласно ходу работы, указанному в методичке.
- 5) Обработка экспериментальных данных. Внесение соответствующих таблиц, графиков, диаграмм в отчет.
- 6) Подготовка и оформление отчета по лабораторной работе (в электронной форме). Ответы на контрольные вопросы в методичке. Четкое формулирование выводов по работе.
- 7) Подготовка к защите отчета (с учетом изучения теоретического материала).
- 8) Защита отчета.

## **VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации**

Форма текущего контроля: собеседование во время лабораторных работ, проверка отчетов. Для допуска к зачёту требуется полностью выполнить все лабораторные, сдать отчеты и обсудить с преподавателем полученные результаты по каждой работе (в том числе ответить на контрольные вопросы), получив при этом отметку о сдаче.

Вид промежуточной аттестации: – зачет.

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

### 8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Для изучения данного курса студент должен знать основы информатики, уметь пользоваться компьютером на продвинутом уровне, прослушать подробную технику безопасности при работе с соответствующим оборудованием.

Входной контроль не предусмотрен.

### 8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

Примерные вопросы и упражнения для текущего контроля:

Примерный список вопросов текущего контроля:

- 1) электронная эмиссия;
- 2) термоэлектронная эмиссия;
- 3) автоэлектронная эмиссия;
- 4) взрывная эмиссия;
- 5) вторично-электронная эмиссия;
- 6) фотоэлектронная эмиссия;
- 7) формирование и транспортировка электронного потока;
- 8) способы формирования электронных потоков различной интенсивности;
- 9) способы ограничения поперечных размеров электронного потока;
- 10) электрические способы управления плотностью электронов;
- 11) магнитные способы управления скоростью электронов;
- 12) преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии;
- 13) катодолюминисценция, катодоусиление;
- 14) рентгеновское излучение;
- 15) ионизованный газ и плазма;
- 16) элементарные процессы в плазме и на пограничных поверхностях;
- 17) основные методы генерации плазмы;
- 18) модели для описания свойств плазмы;
- 19) типы газовых разрядов;
- 20) общие свойства плазмы;
- 21) явления переноса;
- 22) плазма в магнитном поле;
- 23) колебания, неустойчивости и эмиссионные свойства плазмы;
- 24) излучение плазмы;
- 25) методы ускорения плазменных потоков;
- 26) диагностика параметров плазмы;
- 27) применение плазмы в электронике.

Пример заданий в лабораторной работе:

#### 1. Лабораторная работа: изучение токопереноса в плазме тлеющего разряда

- Собрать электрическую часть стенда. Перенести (или нарисовать) схему эксперимента себе в отчет.
- Придвигать анод к катоду до зажигания разряда, с помощью реостата установить разрядный ток  $I = 10$  мА.
- Удалять анод от катода с шагом 5 мм, поддерживая с помощью реостата неизменным разрядный ток. На каждом шаге измерять напряжение на разряде  $U$ . Процесс проводить до такого расстояния катод-анод  $x$ , пока возможно поддерживать разрядный ток.

- Провести описанную процедуру для пяти значений разрядного тока, увеличивая его каждый раз на 5 мА. Для каждого значения тока подбирать максимальный промежуток изменения расстояния  $\Delta x$ .
- Построить графики зависимости  $U(x)$  для всех значений разрядного тока. Аппроксимировать графики линейным трендом, определить в каждом случае напряженность электрического поля  $E = -dU/dx$ .
- Полагая, что ток разряда равномерно распределен по сечению плазменного столба, которое принять равным внутреннему сечению разрядной трубки  $S \approx 2 \text{ см}^2$ , найти для каждого случая плотность тока  $j \approx I/S$ .
- По формуле найти значения удельной проводимости  $\lambda$ , а также определить для каждого случая степень ионизации  $\eta \approx n/N$ . На основании результата сделать заключение о применимости закона Ома в данном случае. Для оценки принять значения входящих параметров  $\sigma \approx 10^{-18} \text{ м}^2$ ,  $V \approx 10^6 \text{ м/с}$ .
- Результаты оформить в MS Excel в виде таблиц и диаграмм. Оформить отчет в электронном виде.
- Ответить на контрольные вопросы.
- Подготовиться к защите.

### 8.1.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№ п/п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1.	Собеседование при защите отчета	Исследование тлеющего разряда	ПК-2
2.	Собеседование при защите отчета	Изучение токопереноса в вакуумном диоде	ПК-2
3.	Собеседование при защите отчета	Электрическое поле утро-вечер и глобальная картина конвекции.	ПК-2
4.	Собеседование при защите отчета	Изучение термоэлектронной эмиссии.	ПК-2
5.	Собеседование при защите отчета	Движение заряженных частиц в скрещенных полях.	ПК-2
6.	Собеседование при защите отчета	Исследование плазмы высокочастотного разряда	ПК-2
7.	Собеседование при защите отчета	Моделирование движения электронов в электрическом и магнитном полях	ПК-2
8.	Тестирование (при необходимости)	Все разделы	ПК-2

#### Примерный список вопросов к зачёту

- Элементы зонной теории твердых тел. Понятие о валентной зоне и зоне проводимости. Динамика электронов в кристалле. Закон дисперсии, эффективная электронная масса.
- Поверхностный потенциальный барьер. Зависимость энергии электрона от координаты вблизи поверхности кристалла.

- Термоэлектронная эмиссия. Формула Ричардсона-Дэшмэна. Распределение термоэлектронов по энергиям. Зависимость тока термоэмиссии от задерживающего потенциала.
- Термоэлектронная эмиссия с ускоряющим полем. Эффект Шоттки.
- Автоэлектронная эмиссия. Модель потенциального барьера. Зависимость тока эмиссии от электрического поля.
- Фотоэлектронная эмиссия. Спектральная зависимость фототока.
- Вторичная электронная эмиссия. Энергетический спектр вторичных электронов. Качественная теория ВЭЭ. Взрывная эмиссия, качественная теория.
- Появление и исчезновение заряженных частиц в газовом разряде. Упругие и неупругие столкновения частиц, каналы неупругих потерь. Ионизация и рекомбинация. Ионизационное равновесие, формула Саха. Закон Ома и отклонения от него.
- Виды газовых разрядов: дуга, тлеющий разряд, корональный разряд. Самостоятельный и несамостоятельный разряды. Условие самоподдержания разряда. Кривая Пашена. Структура тлеющего разряда.
- Токперенос в вакууме. Ограничение тока объемным зарядом. Закон Чайлда-Ленгмюра («закон  $3/2$ »).
- Параллельный пучок электронов в вакууме. Виртуальный катод.
- Пространственный заряд в электронных пучках. Расширение пучка под действием объемного заряда. Фокусировка пучка электродами. Пушка Пирса.
- Скорости электрического, градиентного и инерциального дрейфа.
- Формула Саха как следствие принципа детального равновесия
- Закон Ома из кинетического уравнения
- Сохранение адиабатического инварианта в пробочной ловушке
- Распределение потенциала вдоль столба в тлеющем разряде
- Отличие корональной и ЛТР излучательных моделей

**Пример тестовых заданий для проверки сформированности компетенций, указанных выше п.Ш:**

1. Основным условием существования объемного заряда в вакуумном диоде является
  - а. превышение тока эмиссии над анодным током
  - б. равенство тока эмиссии и анодного тока
  - в. превышение анодного тока над эмиссионным
2. Рабочим режимом вакуумного диода является
  - а. режим насыщения
  - б. режим объемного заряда
  - в. любой участок ВАХ диода
3. В однородном магнитном поле траекторией электрона является
  - а. спираль
  - б. парабола
  - в. гипербола
4. Напряженность однородного электрического поля между двумя параллельными пластинами
  - а. уменьшается от катода к аноду
  - б. увеличивается от катода к аноду
  - в. неизменна
5. Вторичная электронная эмиссия – это испускание электронов под действием
  - а. нагревания
  - б. электромагнитного излучения
  - в. внешнего электрического поля
6. Зондовые методы исследования плазмы позволяют определить
  - а. среднюю энергию электронов

б. концентрацию атомов в возбужденном состоянии

в. температуру нейтральной компоненты плазмы

7. Скорость дрейфа электронов – это скорость:

а. теплового хаотического движения

б. скорость движения электронов на внешней орбите атома или молекулы

в. скорость направленного движения вдоль силовых линий поля

8. Укажите единицы измерения давления:

а. 33%Па

б. 33%Н/м<sup>2</sup>

в. 33%торр

г. 100%см<sup>2</sup>/с

9. Какое выражение поясняет принцип работы термпарного датчика давления?

а. Вакуум плохо проводит тепло

б. Понижение давления вызывает охлаждение остаточного газа

10. Сопоставьте типы насосов и принципы их действия

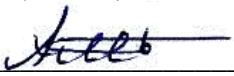
Эжекторный насос	вязкостное взаимодействие потока газа и паровой струи
Диффузионный насос	диффузия газа в пар рабочей жидкости насоса
Пластинчато-роторный насос	механическое перемещение газа из рабочего объёма в атмосферу
Магниторазрядный насос	катодное распыление титана и разряд Пеннинга

**Разработчики:**

  
(подпись)

профессор, зав.кафедрой, д.ф.-м.н.  
(занимаемая должность)

В.Л., Паперный  
(инициалы, фамилия)

  
(подпись)

доцент, к.ф.-м.н.  
(занимаемая должность)


А.А., Черных  
(инициалы, фамилия)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и космической физики ИГУ

« 16 » марта 2026 г.

Протокол № 8, зав. кафедрой



В.Л. Паперный

**Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.**