

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»  
(ТУСУР)



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Владелец: Семенов Павел Васильевич

Действителен: с 17.09.2019 по 16.09.2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**

Направление подготовки / специальность: **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**

Направленность (профиль) / специализация: **Квантовая и оптическая электроника**

Форма обучения: **очная**

Факультет: **Факультет электронной техники (ФЭТ)**

Кафедра: **Кафедра электронных приборов (ЭП)**

Курс: **1**

Семестр: **2**

Учебный план набора 2021 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

| Виды учебной деятельности              | 2 семестр | Всего | Единицы |
|--|-----------|-------|---------|
| Лекционные занятия                     | 18        | 18    | часов   |
| Практические занятия                   | 10        | 10    | часов   |
| в т.ч. в форме практической подготовки | 4         | 4     | часов   |
| Лабораторные занятия                   | 16        | 16    | часов   |
| в т.ч. в форме практической подготовки | 4         | 4     | часов   |
| Самостоятельная работа                 | 64        | 64    | часов   |
| Подготовка и сдача экзамена            | 36        | 36    | часов   |
| Общая трудоемкость                     | 144       | 144   | часов   |
| (включая промежуточную аттестацию)     | 4         | 4     | з.е.    |

| Формы промежуточной аттестация | Семестр |
|--------------------------------|---------|
| Экзамен                        | 2       |

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели дисциплины

1. Целью освоения дисциплины "Плазменная электроника" является приобретение знаний в области вакуумной и плазменной электроники, включая вопросы электрической изоляции и разряда в вакууме, эмиссионной электроники, физики газового разряда и низкотемпературной плазмы, изучение базовых свойств плазмы как одного из видов агрегатного состояния вещества с дальнедействующим кулоновским взаимодействием между заряженными компонентами плазмы.

### 1.2. Задачи дисциплины

1. Формирование представления о плазме в природе и лаборатории, как об отдельном агрегатном состоянии, изложение базовых понятий о плазме, таких как плазменная частота, экранировка зарядов, влияние слабых кулоновских воздействий на процессы переноса в плазме.

2. Изучение влияния на плазму постоянных и импульсных электрических и магнитных полей.

3. Рассмотрение возникновения волн и неустойчивостей в плазме; Рассмотрение примеров низкотемпературной плазмы в газовых разрядах разных типов.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).

Часть блока дисциплин: Часть, формируемая участниками образовательных отношений.

Модуль дисциплин: Модуль направленности (профиля) (major).

Индекс дисциплины: Б1.В.01.ДВ.02.01.

Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

| Компетенция                             | Индикаторы достижения компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине |
|---|-----------------------------------|---|
| <b>Универсальные компетенции</b>        |                                   |   |
| -                                       | -                                 | -   |
| <b>Общепрофессиональные компетенции</b> |                                   |   |
| -                                       | -                                 | -   |
| <b>Профессиональные компетенции</b>     |                                   |   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| ПКР-5. Способен разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники  | ПКР-5.1. Знает современные технологические процессы производства изделий микро- и нанoeлектроники.  | Знает основные особенности технологических процессов производства изделий микро- и нанoeлектроники           |
|  | ПКР-5.2. Умеет проводить анализ и выбор перспективных материалов, технологических процессов и оборудования для производства изделий микроэлектроники. | Умеет на основе анализа выбирать нужные материалы и технологии для производства изделий микроэлектроники.    |
|  | ПКР-5.3. Владеет навыками проектирования технологических процессов производства изделий микро- и нанoeлектроники.                                     | Владеет основными навыками проектирования процессов производства изделий микроэлектроники.                   |
| ПКР-10. Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач | ПКР-10.1. Знает принципы построения и функционирования изделий микро- и нанoeлектроники.  | Знает основы устройства и работы изделий микроэлектроники.   |
|  | ПКР-10.2. Умеет рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и нанoeлектроники.  | Умеет рассчитывать основные предельные режимы для изделий микро- и нанoeлектроники.                          |
|  | ПКР-10.3. Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и нанoeлектроники.                            | Владеет навыками исследований параметров и конструкций изделий микроэлектроники.                             |
| ПКР-13. Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов   | ПКР-13.1. Знает способы организации и проведения экспериментальных исследований.  | Знает основы экспериментального исследования.  |
|  | ПКР-13.2. Умеет самостоятельно проводить экспериментальные исследования.  | Умеет проводить поставленные экспериментальные исследования.   |
|  | ПКР-13.3. Владеет навыками проведения исследования с применением современных средств и методов.   | Владеет навыками использования современных средств и методов при проведении экспериментального исследования. |

**4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем**

## и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

| Виды учебной деятельности   | Всего часов | Семестры  |
|---|-------------|-----------|
|   |             | 2 семестр |
| <b>Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего</b>   | 44          | 44        |
| Лекционные занятия  | 18          | 18        |
| Практические занятия  | 10          | 10        |
| Лабораторные занятия  | 16          | 16        |
| <b>Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего</b> | 64          | 64        |
| Подготовка к коллоквиуму  | 18          | 18        |
| Подготовка к тестированию   | 30          | 30        |
| Подготовка к контрольной работе   | 10          | 10        |
| Подготовка к защите отчета по лабораторной работе   | 2           | 2         |
| Подготовка к лабораторной работе, написание отчета  | 2           | 2         |
| Написание отчета по лабораторной работе   | 2           | 2         |
| <b>Подготовка и сдача экзамена</b>  | 36          | 36        |
| <b>Общая трудоемкость (в часах)</b>   | 144         | 144       |
| <b>Общая трудоемкость (в з.е.)</b>  | 4           | 4         |

## 5. Структура и содержание дисциплины

### 5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

| Названия разделов (тем) дисциплины | Лек. зан., ч | Прак. зан., ч | Лаб. раб. | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|------------------------------------|--------------|---------------|-----------|--------------|----------------------------|-------------------------|
| <b>2 семестр</b>                   |              |               |           |              |                            |                         |
| 1 Введение в физику плазмы         | 6            | 2             | -         | 20           | 28                         | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13   |
| 2 Элементарные процессы в плазме   | 8            | 6             | 16        | 26           | 56                         | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13   |
| 3 Диагностика плазмы               | 4            | 2             | -         | 18           | 24                         | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13   |
| Итого за семестр                   | 18           | 10            | 16        | 64           | 108                        |                         |
| Итого                              | 18           | 10            | 16        | 64           | 108                        |                         |

### 5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

| Названия разделов (тем) дисциплины | Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) | Трудоемкость (лекционные занятия), ч | Формируемые компетенции |
|------------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|
| <b>2 семестр</b>                   |  |                                      |                         |

|                                  |   |    |                       |
|----------------------------------|---|----|-----------------------|
| 1 Введение в физику плазмы       | Понятие плазмы. Плазма в природе и лаборатории. Плазменная частота. Экранировка зарядов и дебаевская длина экранирования (Теория Дебая-Хюккеля). Идеальность плазмы, критерии не идеальности. Диаграмма состояний плазмы в различных условиях. Классификация плазмы: высоко- и низко-температурная, изотермическая, разрядная и т.д. Примеры плазмы. Генераторы плазмы. | 6  | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13 |
|                                  | Итого   | 6  |                       |
| 2 Элементарные процессы в плазме | Понятие сечения. Упругие столкновения частиц, частота упругих соударений и транспортная частота. Неупругие столкновения. Возбуждение, метастабильные частицы. Диссоциация. Резонансная перезарядка. Ионизация электронным ударом.   | 8  | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13 |
|                                  | Итого   | 8  |                       |
| 3 Диагностика плазмы             | Методы определения концентрации электронов и ионов в плазме по уширению спектральных линий.   | 4  | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13 |
|                                  | Итого   | 4  |                       |
| Итого за семестр                 |   | 18 |                       |
| Итого                            |   | 18 |                       |

### 5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов (тем) дисциплины | Наименование практических занятий (семинаров)   | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|------------------------------------|---|-----------------|-------------------------|
| <b>2 семестр</b>                   |   |                 |                         |
| 1 Введение в физику плазмы         | Экранировка зарядов и дебаевская длина экранирования (Теория Дебая-Хюккеля).  | 2               | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13   |
|                                    | Итого   | 2               |                         |
| 2 Элементарные процессы в плазме   | Определение структуры плазмы по самообращенным линиям.  | 2               | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13   |
|                                    | Классификация плазмы. Изотермическая (равновесная) плазма. Уравнение Саха.  | 2               | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13   |
|                                    | Расходимость статистических сумм атома, методы ограничения статистических сумм в плазме. Снижение потенциала ионизации. | 2               | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13   |
|                                    | Итого   | 6               |                         |

|                      |  |    |                       |
|----------------------|--|----|-----------------------|
| 3 Диагностика плазмы | Зондовый метод диагностики плазмы. Методы определения концентрации электронов и ионов в плазме по уширению спектральных линий. | 2  | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13 |
|                      | Итого  | 2  |                       |
| Итого за семестр     |  | 10 |                       |
| Итого                |  | 10 |                       |

#### 5.4. Лабораторные занятия

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Наименование лабораторных работ

| Названия разделов (тем) дисциплины | Наименование лабораторных работ                           | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|------------------------------------|---|-----------------|-------------------------|
| <b>2 семестр</b>                   |   |                 |                         |
| 2 Элементарные процессы в плазме   | Определение удельного заряда электрона методом магнетрона | 4               | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13   |
|                                    | Изучение спектра излучения атомов водорода                | 4               | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13   |
|                                    | Изучение электростатического поля                         | 4               | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13   |
|                                    | Изучение магнитного поля на оси кругового витка           | 4               | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13   |
|                                    | Итого   | 16              |                         |
| Итого за семестр                   |   | 16              |                         |
| Итого                              |   | 16              |                         |

#### 5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

#### 5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов (тем) дисциплины | Виды самостоятельной работы     | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля     |
|------------------------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|
| <b>2 семестр</b>                   |                                 |                 |                         |                    |
| 1 Введение в физику плазмы         | Подготовка к коллоквиуму        | 6               | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13   | Коллоквиум         |
|                                    | Подготовка к тестированию       | 10              | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13   | Тестирование       |
|                                    | Подготовка к контрольной работе | 4               | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13   | Контрольная работа |
|                                    | Итого                           | 20              |                         |                    |

|                                  |  |     |                       |                                      |
|----------------------------------|--|-----|-----------------------|--------------------------------------|
| 2 Элементарные процессы в плазме | Подготовка к коллоквиуму                           | 6   | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13 | Коллоквиум                           |
|                                  | Подготовка к тестированию                          | 10  | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13 | Тестирование                         |
|                                  | Подготовка к контрольной работе                    | 4   | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13 | Контрольная работа                   |
|                                  | Подготовка к защите отчета по лабораторной работе  | 2   | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13 | Защита отчета по лабораторной работе |
|                                  | Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 2   | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13 | Лабораторная работа                  |
|                                  | Написание отчета по лабораторной работе            | 2   | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13 | Отчет по лабораторной работе         |
|                                  | Итого  | 26  |                       |                                      |
| 3 Диагностика плазмы             | Подготовка к коллоквиуму                           | 6   | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13 | Коллоквиум                           |
|                                  | Подготовка к тестированию                          | 10  | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13 | Тестирование                         |
|                                  | Подготовка к контрольной работе                    | 2   | ПКР-5, ПКР-10, ПКР-13 | Контрольная работа                   |
|                                  | Итого  | 18  |                       |                                      |
| Итого за семестр                 |  | 64  |                       |                                      |
|                                  | Подготовка и сдача экзамена                        | 36  |                       | Экзамен                              |
| Итого                            |  | 100 |                       |                                      |

### 5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Формируемые компетенции | Виды учебной деятельности |            |           |           | Формы контроля   |
|-------------------------|---------------------------|------------|-----------|-----------|--|
|                         | Лек. зан.                 | Прак. зан. | Лаб. раб. | Сам. раб. |  |
| ПКР-5                   | +                         | +          | +         | +         | Защита отчета по лабораторной работе, Коллоквиум, Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен, Отчет по лабораторной работе |
| ПКР-10                  | +                         | +          | +         | +         | Защита отчета по лабораторной работе, Коллоквиум, Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен, Отчет по лабораторной работе |
| ПКР-13                  | +                         | +          | +         | +         | Защита отчета по лабораторной работе, Коллоквиум, Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен, Отчет по лабораторной работе |

## 6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

### 6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

| Формы контроля                       | Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|--------------------------------------|--|---|---|------------------|
| <b>2 семестр</b>                     |  |   |   |                  |
| Защита отчета по лабораторной работе | 2  | 3   | 5   | 10               |
| Коллоквиум                           | 5  | 5   | 5   | 15               |
| Контрольная работа                   | 2  | 3   | 5   | 10               |
| Лабораторная работа                  | 2  | 3   | 5   | 10               |
| Тестирование                         | 5  | 5   | 5   | 15               |
| Отчет по лабораторной работе         | 2  | 3   | 5   | 10               |
| Экзамен                              |  |   |   | 30               |
| Итого максимум за период             | 18   | 22  | 30  | 100              |
| Нарастающим итогом                   | 18   | 40  | 70  | 100              |

### 6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

| Баллы на дату текущего контроля                       | Оценка |
|---|--------|
| ≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК         | 5      |
| От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 4      |
| От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 3      |
| < 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК         | 2      |

### 6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице

6.3.

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

| Оценка                               | Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен | Оценка (ECTS)           |
|--------------------------------------|--|-------------------------|
| 5 (отлично) (зачтено)                | 90 – 100   | A (отлично)             |
| 4 (хорошо) (зачтено)                 | 85 – 89  | B (очень хорошо)        |
|                                      | 75 – 84  | C (хорошо)              |
|                                      | 70 – 74  | D (удовлетворительно)   |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено)      | 65 – 69  | E (посредственно)       |
|                                      | 60 – 64  |                         |
| 2 (неудовлетворительно) (не зачтено) | Ниже 60 баллов   | F (неудовлетворительно) |

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 7.1. Основная литература



1. Котельников, И. А. Лекции по 1. физике плазмы. Том 1. Основы физики плазмы / И. А. Котельников. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 400 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/20216>.

## **7.2. Дополнительная литература**

1. Голант, В. Е. Основы физики плазмы : учебное пособие / В. Е. Голант, А. П. Жилинский, И. Е. Сахаров. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 448 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/210629>.

2. Вакуумная и плазменная электроника: Учебное пособие / А. С. Климов, А. А. Зенин, Е. М. Окс, А. В. Казаков - 2020. 203 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/9520>.

3. Физические основы вакуумной и плазменной электроники: Учебно-методическое пособие / Ю. Г. Юшков, Ю. А. Бурачевский, А. С. Климов, А. В. Медовник, Е. М. Окс - 2019. 188 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/9025>.

## **7.3. Учебно-методические пособия**

### **7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия**

1. Определение удельного заряда электрона методом магнетрона (магнетрон): Руководство к лабораторной работе по физике / Ю. А. Бурачевский - 2019. 16 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/8969>.

2. Исследование спектра атома водорода: Руководство к лабораторной работе по физике / А. С. Климов, Н. П. Кондратьева - 2019. 14 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/8965>.

3. Электричество и магнетизм: Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе / Ю. А. Бурачевский - 2018. 137 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/7729>.

4. Изучение магнитного поля кругового тока: Методические указания к лабораторной работе по физике / А. С. Климов, А. А. Зенин - 2020. 13 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/9262>.

5. Изучение электростатического поля: Методические указания к лабораторной работе по физике / А. С. Климов, А. А. Зенин - 2020. 14 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/9266>.

### **7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

## **7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: <https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh>.

## **8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины**

### **8.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий**

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

## **8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий**

Учебная аудитория: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 125 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Интерактивная панель;
- Камера;
- Микрофон;
- Тумба для докладчика;
- Магнитно-маркерная доска;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- Adobe Reader;
- Google Chrome;
- Microsoft Office 2013;
- OBS Studio;
- VLC media player;
- Windows 10;

## **8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ**

Лаборатория волновой оптики: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 210 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Монохроматор - 9 шт.;
- Источник света спектра ртути - 6 шт.;
- Источник света спектра водорода - 8 шт.;
- Лабораторный макет "Поляризация света" - 6 шт.;
- Магнитно-маркерная доска;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Лаборатория электричества и магнетизма: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 219 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Лабораторный макет "Электричество и магнетизм" - 12 шт.;
- Учебно-лабораторный стенд по электродинамике - 3 шт.;
- Контроллер измерений - 12 шт.;
- Магнитно-маркерная доска;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- ASIMEC;
- LibreOffice;
- Microsoft Windows 7 Pro;
- Расчет погрешностей физических измерений;

## 8.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

## 8.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрения** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

## 9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

### 9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

| Названия разделов (тем) дисциплины | Формируемые компетенции | Формы контроля | Оценочные материалы (ОМ) |
|------------------------------------|-------------------------|----------------|--------------------------|
|------------------------------------|-------------------------|----------------|--------------------------|

|                                  |                          |                                      |   |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---|
| 1 Введение в физику плазмы       | ПКР-5, ПКР-10,<br>ПКР-13 | Коллоквиум                           | Примерный перечень вопросов для коллоквиума               |
|                                  |                          | Контрольная работа                   | Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ  |
|                                  |                          | Тестирование                         | Примерный перечень тестовых заданий                       |
|                                  |                          | Экзамен                              | Перечень экзаменационных вопросов                         |
| 2 Элементарные процессы в плазме | ПКР-5, ПКР-10,<br>ПКР-13 | Защита отчета по лабораторной работе | Примерный перечень вопросов для защиты лабораторных работ |
|                                  |                          | Коллоквиум                           | Примерный перечень вопросов для коллоквиума               |
|                                  |                          | Контрольная работа                   | Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ  |
|                                  |                          | Лабораторная работа                  | Темы лабораторных работ                                   |
|                                  |                          | Тестирование                         | Примерный перечень тестовых заданий                       |
|                                  |                          | Экзамен                              | Перечень экзаменационных вопросов                         |
|                                  |                          | Отчет по лабораторной работе         | Темы лабораторных работ                                   |
| 3 Диагностика плазмы             | ПКР-5, ПКР-10,<br>ПКР-13 | Коллоквиум                           | Примерный перечень вопросов для коллоквиума               |
|                                  |                          | Контрольная работа                   | Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ  |
|                                  |                          | Тестирование                         | Примерный перечень тестовых заданий                       |
|                                  |                          | Экзамен                              | Перечень экзаменационных вопросов                         |

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

| Оценка                     | Баллы за ОМ                        | Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения |   |   |
|----------------------------|------------------------------------|---|---|---|
|                            |                                    | знать   | уметь   | владеть   |
| 2<br>(неудовлетворительно) | < 60% от максимальной суммы баллов | отсутствие знаний или фрагментарные знания  | отсутствие умений или частично освоенное умение | отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков |

|                          |  |   |   |  |
|--------------------------|--|---|---|--|
| 3<br>(удовлетворительно) | от 60% до 69% от максимальной суммы баллов | общие, но не структурированные знания                   | в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение | в целом успешное, но не систематическое применение навыков           |
| 4 (хорошо)               | от 70% до 89% от максимальной суммы баллов | сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания | в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение    | в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков |
| 5 (отлично)              | ≥ 90% от максимальной суммы баллов         | сформированные систематические знания                   | сформированное умение                                       | успешное и систематическое применение навыков                        |

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

| Оценка                     | Формулировка требований к степени компетенции  |
|----------------------------|--|
| 2<br>(неудовлетворительно) | Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или<br>Знать на уровне <b>ориентирования</b> , представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения. |
| 3<br>(удовлетворительно)   | Знать и уметь на <b>репродуктивном</b> уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.   |
| 4 (хорошо)                 | Знать, уметь, владеть на <b>аналитическом</b> уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения.   |
| 5 (отлично)                | Знать, уметь, владеть на <b>системном</b> уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины.                             |

### 9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

1. Длина свободного пробега электронов по сравнению с ионами в условиях среднего вакуума
  - а) больше
  - б) меньше
  - в) одинакова
  - г) ровна
2. При движении в электрическом поле в условиях высокого вакуума
  - а) энергия электронов больше, чем ионов
  - б) энергия ионов больше, чем электронов

- в) энергия электронов равна энергии ионов  
г) нет правильного ответа
3. При увеличении напряжения накала катода величина тока термоэлектронной эмиссии
    - а) увеличится
    - б) уменьшится
    - в) не изменится
    - г) нет правильного ответа
  4. Автоэлектронная эмиссия – это испускание твердым телом электронов под действием
    - а) падающих на поверхность электронов
    - б) высокой температуры твердого тела
    - в) электрического поля
    - г) всего вышеперечисленного
  5. При каком механизме эмиссии не повышается энергия электронов в твердом теле
    - а) термоэлектронная
    - б) автоэлектронная
    - в) фотоэлектронная
    - г) нет правильного ответа
  6. В линзу-диафрагму поступает пучок электронов из области, где напряженность электрического поля выше, чем за плоскостью диафрагмы. Такая линза
    - а) всегда собирающая
    - б) всегда рассеивающая
    - в) в зависимости от потенциала диафрагмы может быть собирающей или рассеивающей
    - г) нет правильного ответа
  7. Одиночная электростатическая линза
    - а) увеличивает энергию пучка электронов при его фокусировке
    - б) не изменяет энергию пучка электронов при его фокусировке
    - в) уменьшает энергию пучка электронов, делая его расходящимся
    - г) уменьшает энергию пучка электронов, делая его сходящимся
  8. Масс-спектрометры имеют большой линейный размер для того, чтобы увеличить
    - а) порог чувствительности
    - б) разрешающую способность
    - в) количество столкновений за время пролета
    - г) все вышеперечисленное
  9. Эффективность ионизации нейтральных атомов ионным пучком по сравнению с электронным
    - а) выше
    - б) ниже
    - в) одинакова
    - г) нет правильного ответа
  10. К неупругим столкновениям второго рода относится
    - а) рекомбинация
    - б) диссоциация
    - в) возбуждение вращательных уровней
    - г) десорбция

### 9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Энергетическая диаграмма на границе твердое тело – вакуум. Уровень Ферми и работа выхода электронов из металла, собственного полупроводника, донорного полупроводника, акцепторного полупроводника.
2. Термоэлектронная эмиссия в вакуум из металлов. Формула Ричардсона-Дэшмана.
3. Ток насыщения термокатода. Вольтамперные характеристики вакуумного термоэмиссионного диода.
4. Вторичная электрон–электронная эмиссия (ВЭЭ). Схема экспериментальной установки для исследования ВЭЭ. Функция распределения электронов по энергиям. Истинно вторичные, рассеянные (неупруго отраженные) и упруго отраженные электроны. Характеристические потери упруго отраженных электронов и электроны, эмитированные

- по механизму Оже.
5. Эмиссия электронов и ионов из плазмы.
  6. Вакуумный пробой. Критерий начала пробоя. Катодные и анодные механизмы инициирования пробоя, условия их реализации.
  7. Зависимость времени запаздывания пробоя от плотности тока в эмиссионном центре и от напряженности электрического поля на катоде при катодном механизме инициирования пробоя.
  8. Виды процессов рекомбинации электрона и иона.
  9. Коэффициент ударной ионизации и его зависимость от напряженности поля и давления газа.
  10. Условие развития самостоятельного разряда. Закон Пашена для пробивных напряжений.
  11. Вольтамперная характеристика разряда в газе в общем виде и место различных видов разрядов на вольтамперной характеристике.
  12. Импульсный пробой в газе. Время запаздывания при импульсном пробое.
  13. Определение дебаевского радиуса, плазменной частоты, плазменного параметра, условий существования плазмы.
  14. Виды плазмы, физические принципы классификации
  15. Упругие столкновения в плазме (транспортное сечение), время установления равновесных состояний.
  16. Процессы переноса в плазме. Проводимость, теплопроводность, диффузия амбиполярная, диффузия Бомовская.
  17. Излучение в плазме. Тормозное излучение, рекомбинационное излучение, линейчатое излучение.
  18. Физические модели плазмы. Проводящая сплошная среда.
  19. Особенности применения конечно-разностных методов к решению задач физики плазмы.
  20. Эффект убегающих электронов в плазме при наличии электрического поля.

### 9.1.3. Примерный перечень вопросов для коллоквиума

1. Фундаментальные свойства плазмы: квазинейтральность, дебаевский радиус, плазменное экранирование, плазменные колебания.
2. Функция распределения (ФР), средняя энергия и другие моменты ФР.
3. Сечение столкновений частиц, частота, длина пробега.
4. Кинетическое и гидродинамическое описание плазмы.
5. Способы задания начального состояния в методе частиц.
6. Численные схемы интегрирования уравнений движения: Эйлера и с перешагиванием (Leapfrog), сравнение.
7. Методы численного расчета электростатического поля, сравнение/

### 9.1.4. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

1. Промоделируйте методом крупных частиц движение  $10^6$  позитронов с начальной температурой  $T=100$  К в магнитной ловушке с размерами  $l_x=0.01$  м и  $l_y=0.01$  м. В начальный момент частицы расположены в области  $z$ , где  $s=0.005$  м (координаты центра),  $a=0.07$ ,  $b=0.05$ . Начальные скорости частиц задайте случайными. Выведите распределение частиц по области в начальный момент и в последующие, а также зависимость средней энергии частиц от времени. Расчеты проведите для максвелловского и для моноэнергетического распределения.
2. В электронно-лучевой трубке отклоняющие пластины имеют размеры:  $d=5$  мм;  $l=10$  мм; расстояние от пластин до экрана  $L=30$  см; напряжение, ускорившее пучок электронов  $U=3$  кВ. Какой величины сигнал подан на пластины, если луч отклонился на 2 см на экране?
3. Какая напряженность магнитного поля должна быть в зазоре между полюсами постоянного магнита для того, чтобы электрон, влетевший в зазор, не покинул его? Энергия электрона  $eW=5$  эВ, диаметр полюсов  $d=2$  см, ширина зазора  $h=3$  мм.
4. Определить ларморовский радиус электрона с энергией  $W=0,1$  эВ в магнитном поле, напряженностью  $H=500$  А/м.
5. Определить плотность термоэмиссионного тока с катода, если эффективная работа

выхода  $j_e = 4,3$  эВ, температура катода  $T = 2000^\circ\text{C}$ .

### 9.1.5. Примерный перечень вопросов для защиты лабораторных работ

1. Напишите формулу Бальмера из полуклассических соображений?
2. Сформулируйте постулаты Бора?
3. Какие из постулатов Бора подтвердили опыты Франка и Герца.
4. Какими квантовыми числами характеризуются состояния электронов в атоме?
5. Какие значения могут принимать квантовые числа?
6. Какие правила отбора существуют для квантовых чисел?

### 9.1.6. Темы лабораторных работ

1. Определение удельного заряда электрона методом магнетрона
2. Изучение спектра излучения атомов водорода
3. Изучение электростатического поля
4. Изучение магнитного поля на оси кругового витка

## 9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

– чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

### 9.3. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

| Категории обучающихся | Виды дополнительных оценочных материалов                                       | Формы контроля и оценки результатов обучения |
|-----------------------|--|--|
| С нарушениями слуха   | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы | Преимущественно письменная проверка          |



|   |   |  |
|---|---|--|
| С нарушениями зрения                          | Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам   | Преимущественно устная проверка (индивидуально)  |
| С нарушениями опорно-двигательного аппарата   | Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету | Преимущественно дистанционными методами  |
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы         | Преимущественно проверка методами, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

#### **9.4. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Физики  
протокол № 86 от «20» 4 2020 г.

### СОГЛАСОВАНО:

| Должность                             | Инициалы, фамилия | Подпись  |
|---------------------------------------|-------------------|--|
| Заведующий выпускающей каф. ЭП        | Н.И. Буримов      | Согласовано,<br>393931b1-af66-45e5-<br>a537-c5831244e4ca |
| Заведующий обеспечивающей каф. Физики | Е.М. Окс          | Согласовано,<br>99053dca-2aae-4b14-<br>9bb4-8377fd62b902 |
| Начальник учебного управления         | Е.В. Саврук       | Согласовано,<br>fa63922b-1f3e-4aba-<br>845d-9ce7670b004c |

### ЭКСПЕРТЫ:

|                        |              |  |
|------------------------|--------------|--|
| Доцент, каф. ЭП        | А.И. Аксенов | Согласовано,<br>d90d5f87-f1a9-4440-<br>b971-ce4f7e994961 |
| Профессор, каф. физики | А.С. Климов  | Согласовано,<br>3ad9472f-31be-4051-<br>a091-9e227bbc551b |

### РАЗРАБОТАНО:

|                        |            |  |
|------------------------|------------|--|
| Профессор, каф. физики | Ю.Г. Юшков | Разработано,<br>c6791e79-8c30-4e12-<br>8044-1212c15c6574 |
|------------------------|------------|--|