

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 научной работе и  
инновациям

Лоцилов А.Г.

«*1*» *марта* 2022 г.



**ПРОГРАММА**

вступительного испытания по специальной дисциплине  
соответствующей научной специальности программы подготовки научных и  
научно-педагогических кадров в аспирантуре

2.2.1 – Вакуумная и плазменная электроника  
*шифр и наименование научной специальности*

Программа вступительных испытаний при приеме на обучение по программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре формируется на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры.

Составители программы: Бакеев Илья Юрьевич, доцент, к.т.н.



ПРОГРАММА РАССМОТРЕНА И УТВЕРЖДЕНА на заседании кафедры физики от 25 февраля 2022 г. протокол № 95

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой физики



Окс Е.М.

Разработчик



Климов А.С.

Руководитель образовательной программы



Окс Е.М.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Программа вступительного испытания по специальной дисциплине соответствующей научной специальности программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре 2.2.1 – Вакуумная и плазменная электроника (далее – Программа), сформирована на основе требований федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования к программам магистратуры (специалитета) по соответствующим направлениям (специальностям) подготовки. Программа разработана для поступления на обучение в аспирантуру ТУСУРа.

Программой устанавливается:

- форма, структура, процедура сдачи вступительного испытания;
- шкала оценивания;
- максимальное и минимальное количество баллов для успешного прохождения вступительного испытания;
- критерии оценки ответов.

1.2 Организация и проведение вступительного испытания осуществляется в соответствии с Правилами приема, утвержденными приказом ректора ТУСУРа, действующими на текущий год поступления.

1.3 По результатам вступительного испытания, поступающий имеет право подать на апелляцию о нарушении, по мнению поступающего, установленного порядка проведения вступительного испытания и (или) о несогласии с полученной оценкой результатов вступительного испытания в порядке, установленном Правилами приема, действующими на текущий год поступления.

## 2. ФОРМА, СТРУКТУРА, ПРОЦЕДУРА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ И ШКАЛА ОЦЕНИВАНИЯ ОТВЕТОВ

2.1 Вступительное испытание проводится на русском языке.

2.2 Вступительное испытание по специальной дисциплине проводится в форме экзамена сочетанием письменной и устной форм в соответствии с перечнем тем и (или) вопросов, установленных данной Программой.

2.3 Структура экзамена:

Письменная часть вступительных испытаний проводится в тестовой форме (20 вопросов по 5 баллов каждый). Продолжительность проведения письменной части экзамена – не более 60 минут. Устная часть экзамена проводится в форме собеседования, в ходе которого поступающий поясняет решения тестовых вопросов. Продолжительность проведения устной части экзамена – не более 30 минут.

2.4 Вступительное испытание проводится экзаменационной комиссией, действующей на основании приказа ректора.

Итоговая оценка за экзамен определяется как средний балл, выставленный всеми членами экзаменационной комиссии.

Результаты проведения вступительного испытания оформляются протоколом, в котором фиксируются вопросы экзаменаторов к поступающему. На каждого поступающего ведется отдельный протокол. Протокол приема вступительного испытания подписывается членами комиссии, которые присутствовали на экзамене, с указанием их ученой степени, ученого звания, занимаемой должности и утверждается председателем комиссии. Протоколы приема вступительных испытаний после утверждения хранятся в личном деле поступающего

## 2.5 Шкала оценивания ответов на экзамене.

неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	отлично
до 44 баллов	45 – 75 баллов	76 – 84 баллов	85 – 100 баллов

Максимальное количество баллов за экзамен – 100. Минимальное количество баллов для успешного прохождения экзамена – 45. Поступающий, набравший менее 45 баллов за экзамен, не может быть зачислен в аспирантуру.

**Таблица критериев оценки устных и письменных ответов (при наличии)**

Вид деятельности		
Оценка	Балл	Уровень владения темой
<b>неудовлетворительно</b>	до 44	<i>Поступающий показывает плохое знание теоретического материала, при ответе на вопросы не дает определений базовых понятий разделов дисциплины, не способен провести анализ указанных в вопросах физических явлений и логически обосновать выбранный ответ.</i>
<b>удовлетворительно</b>	45-75	<i>Поступающий демонстрирует знание базового материала дисциплины в объеме, достаточном для дальнейшего обучения по программе подготовки, при ответах дает развернутое обоснование на большинство вопросов, но при этом обнаруживается отсутствие понимания некоторых основных понятий или затруднения в построении причинно-следственных связей некоторых явлений.</i>
<b>хорошо</b>	76-84	<i>Поступающий демонстрирует знание ключевых разделов материала дисциплины, при ответах на большинство вопросов дает определения большинства понятий и способен привести обоснование выбранного ответа на основе анализа причинно-следственной связи физических явлений.</i>
<b>отлично</b>	85-100	<i>Поступающий демонстрирует всестороннее, систематическое и глубокое знание материала дисциплины, при ответах на вопросы дает развернутые определения всех понятий, способен привести качественный анализ причин и условий физических явлений, при ответе дает логически обоснованный развернутый ответ.</i>

2.6 Во время проведения вступительных испытаний их участникам и лицам, привлекаемым к их проведению, запрещается иметь при себе и использовать средства связи. Участники вступительных испытаний могут иметь при себе и использовать справочные материалы и электронно-вычислительную технику (письменные принадлежности, справочники физических величин, калькулятор).

При нарушении поступающим во время проведения вступительных испытаний правил приема, утвержденных организацией, уполномоченные должностные лица организации вправе удалить его с места проведения вступительного испытания с составлением акта об удалении.

### 3. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

1. Кинетическая теория газов. Закон идеального газа. Число Авогадро. Скорость молекул. Закон распределения Максвелла—Больцмана. Свободный пробег молекул. Скорость испарения и давление пара. Теплопроводность газов при низких давлениях. Течение газов через трубы и отверстия.

2. Электрические явления в разреженных газах. Ионизация, возбуждение и рекомбинация газовых частиц. Эффективные сечения процессов. Движение заряженных частиц в газе.

3. Газовый разряд. Классификация типов газового разряда и отдельных его областей. Условия развития разряда. Кривые Пашена. Высокочастотный разряд. Явления в вакуумных и плазменных приборах. Взаимодействие электронов с твердыми телами. Рентгеновское излучение. Глубина проникновения электронов в твёрдое тело. Прохождение электронов сквозь тонкую фольгу. Взаимодействие ионов с твердыми телами. Катодное распыление твердых тел, его закономерности.

4. Эмиссионная электроника. Термоэлектронная эмиссия. Распределение термоэлектронов по скоростям. Вторичная, фотоэлектронная, автоэлектронная и экзоэлектронная эмиссии. Формулы описывающие основные виды эмиссии. Эмиссия электронов под действием положительных ионов и нейтральных атомов. Эмиссия электронов из плазмы. Взрывная эмиссия.

5. Катоды: термоэлектронные, автоэлектронные (полевые), фотоэлектронные, вторично-эмиссионные. Динамическое равновесие в катодах. Стабильность эмиссии и срок службы главных конструктивно-технологических вариантов катодов. Подогреватели и процессы в них. Плазменные источники электронов. Плазменные источники ионов. Методы подавления термоэмиссии и вторичной электронной эмиссии.

6. Движение заряженных частиц в вакууме в электрических и магнитных полях. Движение при скорости, близкой к скорости света. Фокусирующее и расфокусирующее действие электростатических и магнитостатических полей.

7. Электродинамика. Уравнение Максвелла. Основные характеристики электромагнитного поля и среды.

8. Электровакуумные приборы (ЭВП). Приборы с электростатическим управлением. Токпрохождение в вакуумном промежутке. Плоский диод. Распределение потенциала. Прохождение предварительно ускоренных электронов в плоском промежутке. Минимум потенциала и виртуальный катод.

9. Сеточное управление. Триоды, тетроды, клистроды. Частотные ограничения и пути их преодоления. Основные свойства и характеристики приборов с

электростатическим управлением. Вакуумные вентили. Дугогасительные вакуумные камеры.

10. Плазменные приборы (ПЛП). Принцип действия, конструкция и характеристики плазменных приборов. Приборы тлеющего разряда. Плазменные панели постоянного тока. Панели переменного тока. Водородные тиратроны. Игнитроны. Резонансные, сверхчастотные и искровые разрядники. Газовые лазеры и мазеры.

11. Устройства формирования и фокусировки интенсивных электронных потоков. Общие принципы формирования интенсивных электронных потоков. Электронно-оптические системы (ЭОС), СВЧ приборов О- и М-типа.

12. Магнитные и электростатические фокусирующие системы. Магнитная периодическая фокусирующая система (МПФС). Магнитная реверсивная фокусировка. Периодическая электростатическая (ПЭФ). Коллекторы. Коллекторы с рекуперацией.

13. Электронно-лучевые трубки (ЭЛТ) и фотоэлектронные приборы. Конструкция и характеристики электронно-лучевых приборов. Фокусирующие и отклоняющие системы ЭЛТ. Катодолюминесценция. Осциллографические трубки. Экраны осциллографических трубок. Запоминающие трубки. Функциональные трубки. Знаковые индикаторные трубки. Черно-белые и цветные кинескопы и дисплеи. Плазменные дисплеи, дисплеи с автокатадами. Передающие трубки. Электронно-оптические преобразователи. Основные типы фотоэлементов. Фотоэлектронные умножители. Рентгеновские трубки.

14. Тугоплавкие металлы. Вольфрам, молибден, тантал и др. материалы и их сплавы. Рениевый эффект. Способы получения и очистки тугоплавких металлов и их сплавов. Зонная очистка тугоплавких металлов и сплавов. Их физические и химические свойства. Методы и приборы для контроля их качества. Применение тугоплавких металлов в вакуумной и плазменной электронике.

15. благородные металлы. Платина, палладий, родий, осмий, золото, серебро и их сплавы. Применение благородных металлов и их сплавов в вакуумных и плазменных приборах.

16. Магнитные материалы. Магнитомягкие материалы. Ферриты. Кристаллические ферромагнетики.

17. Стекло. Состав, физико-химические свойства. Термическое расширение. Термостойкость. Электропроводность. Диэлектрические потери. Химическая устойчивость. Проницаемость для излучений. Газопроницаемость. Выбор стекла для различных условий применения. Обработка стекла. Ситаллы. Спаи стекла с металлами, оборудование для производства стекла. Оборудование для спаев стекла с металлами. Приборы для контроля качества спаев.

18. Керамика и другие изоляционные материалы. Виды керамики и изоляционных материалов, используемых в вакуумной и плазменной электронике. Алмаз, нитриды, сапфир. Физико-химические свойства изоляционных материалов. Механические свойства. Термическое расширение. Теплопроводность. Удельное электрическое, объемное и поверхностное сопротивление. Диэлектрические свойства. Оптические свойства. Газопроницаемость. Спаи с металлами. Приборы для контроля физико-химических свойств. Оборудование и производство керамических деталей.

19. Газы. Инертные газы. Получение и физические свойства газов. Применение инертных газов в технологии ЭВП и ПЛП. Методы очистки инертных газов.

20. Активные газы. Водород, азот, кислород и углекислый газ. Физические и химические свойства активных газов. Методы очистки и приборы для контроля чистоты газов. Применение газов в технологии ЭВП и ПЛП.

21. Методы соединения деталей. Контактная сварка. Аргонодуговая сварка. Электронно-лучевая сварка. Сварка с использованием лазеров. Термокомпрессионная сварка. Оборудование, используемое для различного вида сварок. Пайка деталей припоями. Многоступенчатая пайка. Пайка в вакууме, в защитных и восстановительных средах. Оборудование для пайки. Печи периодического и непрерывного действия. Критерии паяемости и свариваемости деталей. Методы и приборы для контроля герметичности сварных и паянных швов. Заварка приборов со стеклянной оболочкой.

22. Откачка ЭВП и ПЛП. Газы, выделяемые из деталей в процессе откачки. Способы и режим обработки катодов и оболочек приборов. Контроль процесса откачки. Особенности откачки приборов в молекулярном режиме. Откачное оборудование. Автоматы и откачные посты. Обслуживание откачного оборудования. Способы очистки вакуумных систем. Вредные последствия длительного и высокотемпературного обезгаживания ЭВП при откачке. Особенности откачки ПЛП и способы наполнения их газами.

#### **4. ОБРАЗЕЦ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА ДЛЯ СДАЧИ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ**

##### **Вариант 0**

**1. При вхождении электрона в магнитное поле поперек силовых линий поля:**

1. траектория движения не меняется
2. траектория движения циклоида
3. траектория движения гиперболо
4. траектория движения прямая линия

**2. Волновые свойства электрона проявляются, если его движение ограничено областью пространства, линейные размеры которого по отношению к длине волны Де-Бройля электрона**

1. много меньше
2. соизмеримы
3. много больше
4. в точности равны

**3. Для нахождения энергии уровня Ферми в металле необходимо знать:**

1. концентрацию электронов в металле
2. работу выхода электронов из металла
3. среднюю энергию электронов в металле
4. валентность металла

**4. С увеличением работы выхода электронов из металла плотность термоэлектронного тока:**

1. линейно возрастает
2. увеличивается экспоненциально
3. уменьшается
4. не изменяется

**5. Глубина проникновения первичных электронов в металл пропорциональна их энергии**

1. в степени  $1/2$
2. в степени  $3/2$
3. в степени 2

4. в степени 1

**6. Автоэлектронная эмиссия – это испускание электронов твердым телом под действием**

1. электромагнитного излучения
2. нагревания
3. внешнего электрического поля
4. механической деформации

**7. Основным условием существования объемного заряда в вакуумном диоде является**

1. превышение тока эмиссии над анодным током
2. равенство тока эмиссии и анодного тока
3. превышение анодного тока над эмиссионным
4. бесконечная эмиссионная способность катода

**7. На участке насыщения ВАХ вакуумного диода анодный ток**

1. постоянен
2. растет из-за проявления эффекта Шоттки
3. растет из-за проявления туннельного эффекта
4. снизится в результате отражения электронов от виртуального катода.

**8. Вторичная электронная эмиссия – это испускание электронов под действием**

1. нагревания
2. электронной бомбардировки
3. внешнего электрического поля
4. электромагнитного излучения

**9. При упругих столкновениях с атомами или молекулами газа электроны**

1. теряют часть энергии пропорционально отношению масс
2. захватываются молекулами или атомами газа
3. приобретают часть энергии пропорционально отношению масс
4. отражаются без изменения энергии

**10. Состояние вещества в виде низкотемпературной плазмы реализуется в**

1. положительном столбе тлеющего разряда
2. катодных областях тлеющего и дугового разряда
3. искровом разряде
4. анодной области разряда

**11. Зависимость сечения возбуждения атомов и молекул при электронном ударе от энергии электронов имеет вид**

1. экспоненциально возрастающей кривой
2. кривой с максимумом
3. кривой с минимумом
4. экспоненциально падающей кривой

**12. В условиях неравномерного распределения электрического поля в разрядном промежутке, когда радиус кривизны одного электрода существенно отличается от другого, наиболее вероятно возникновение разряда**

1. тлеющего
2. высокочастотного
3. коронного
4. дугового

**13. Прерывистый характер горения присущ разряду**

1. дуговому
2. искровому
3. тлеющему
4. высокочастотному

**14. Поддержание самостоятельного тлеющего разряда постоянного тока обеспечивается**



1. термоэлектронной эмиссией
  2. вторичной электрон-ионной эмиссией
  3. фотоэлектронной эмиссией
  4. автоэлектронной эмиссией
- 15. Для неравновесной газоразрядной плазмы низкого давления характерное соотношение энергии частиц газа ( $E_g$ ), ионов ( $E_i$ ) и электронов ( $E_e$ ) имеет вид**
1.  $E_e = E_i = E_g$
  2.  $E_e \gg E_i > E_g$
  3.  $E_i > E_e > E_g$
  4.  $E_i < E_e < E_g$
- 16. Сверхвысокочастотные методы диагностики плазмы преимущественно применяются для исследования характеристик**
1. дугового и высокочастотного разрядов высокого давления
  2. искровых разрядов
  3. тлеющего разряда низкого давления
  4. тлеющего разряда высокого давления
- 17. Образование заряженных частиц в объеме самостоятельного тлеющего разряда происходит в основном за счет:**
1. термической ионизации
  2. ионизации при прямом электронном ударе
  3. фотоионизации
  4. ионизацией ионами
- 18. Зависимость потенциала зажигания разряда от давления (кривая Пашена) имеет вид:**
1. монотонно растущей кривой
  2. монотонно убывающей кривой
  3. кривой с минимумом
  4. кривой с максимумом
- 19. Закономерности развития какого разряда позволяет описать понятие стриммера**
1. дугового
  2. тлеющего
  3. искрового
  4. коронного
- 20. Зондовые методы исследования плазмы позволяют определить**
1. среднюю энергию ионов
  2. концентрацию атомов в возбужденном состоянии
  3. температуру нейтральной компоненты плазмы
  4. концентрацию плазмы

## 5. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### 5.1. Основная литература

1. Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток. М., Наука, 1971.
2. Добрецов А.Н., Гомоюнова М.В., Эмиссионная электроника.- М: Наука, 1966.
3. Коваль Н.Н., Окс Е.М., Протасов Ю.С., Н.Н. Семашко. Эмиссионная электроника, Серия Электроника. Прикладная электроника. – Москва. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.
4. Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения. Томск, Издательство научно-технической литературы. 2005.

5. Райзер Ю.П.. Физика газового разряда. М., Наука, 1987.
  6. Франк-Каменецкий А. Д. Лекции по физике плазмы. Москва, Атомиздат, 1964
  7. Чен Ф. Введение в физику плазмы Москва, Мир, 1987.
- Шимони К., Физическая электроника.- М: Энергия, 1977.

## 5.2. Дополнительная литература

1. Алямовский И.В. Электронные пучки и электронные пушки. М., "Советское радио", 1966.
2. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. Физика плазмы для физиков Москва, Атомиздат, 1979
3. Батыгин В.Н. и др. Вакуумно-плотная керамика и ее спаи с металлами. М., "Энергия", 1973.
4. Вакуумные дуги. Теория и приложения. Под редакцией Дж. Лафферти М., "Мир", 1982.
5. Ворончев Т.А., Соболев В.Д. Физические основы электровакуумной техники. М., "Высшая школа", 1967.
6. Гапонов А.В. и др. "Известия Вузов", сер. Физика, том 2. №3 стр. 450-462, №5 стр. 836-874.
7. Жигарев А.А., Шамаева Г.Г. Электронно-лучевые и фотоэлектронные приборы, М., "Высшая школа", 1982.
8. Киселёв А.Б. Металлооксидные катоды электронных приборов. М., МФТИ, 2001.
9. Королев Ю.Д., Месяц Г.А.. Физика импульсного пробоя газов, М., Наука, 1991
10. Крейндель Ю.Е. Плазменные источники электронов. М.: Атомиздат, 1977, 144 с.
11. Кудинцева Г.А. и др. Термоэлектронные катоды, М., "Энергия", 1966.
12. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. Изд. 2-е, М., "Высшая школа". Т.1, 1970, Т.П., 1972.
13. Лебединский М.А., Технология электровакуумного производства. М-Л., "Госэнергоиздат", 1961.
14. Машиностроение. Энциклопедия, том III-8. Технологии, оборудование и системы управления в электронном машиностроении. М., "Машиностроение", 2000.
15. Месяц Г.А., Эктоны в вакуумном разряде: пробой, искра, дуга.- М.: Наука , 2000.- 424 с.
16. Мик Д., Крэгс Д.. Электрический пробой в газах. Пер. с англ. М., ИЛ, 1960.
17. Раховский В.И., Физические основы коммутации электрического тока в вакууме.- М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1970. - 536 с.
18. Ретер Г.. Электронные лавины и пробой в газах. Пер. с англ., М., "Мир", 1968.
19. Сливков Н.И., Процессы при высоком напряжении в вакууме.- М.: Энергоатомиздат, 1986.- 255 с.
20. Смирнов Б.М.. Введение в физику атомных столкновений. М., Атомиздат, 1973.
21. Смирнов Б.М.. Ионы и возбужденные атомы в плазме. М., Атомиздат, 1974.
22. Физика быстропротекающих процессов. Т.1, Под ред. Н.А. Златина, М., "Мир", 1971.
23. Царёв Б.М., Расчёт и конструирование электронных ламп, М., "Энергия", 1967.

24. Черепнин Н.В. Вакуумные свойства материалов для электронных приборов. М., “Советское радио”, 1966.
  25. Черепнин Н.В. Основы очистки, обезгаживания и откачки в вакуумной технике. М., “Советское радио”, 1967
- Эспе В. Технология электровакуумных материалов. М., Госэнергоиздат. Т.1, 1962, М., “Энергия”, Т.2, 1968, Т.3, 1969.

### **5.3. Периодические издания**

1. Журнал технической физики.
2. Письма в журнал технической физики.
3. Приборы и техника эксперимента.
4. Прикладная физика.
5. Известия высших учебных заведений. Физика
6. Общие вопросы физики и физического эксперимента

### **5.4. Перечень интернет-ресурсов**

1. Образовательный портал в свободном доступе: «Физика, химия, математика студентам и школьникам. Образовательный проект А.Н. Варгина» – Режим доступа: <http://www.ph4s.ru/>
2. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/>
3. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: <http://elibrary.ru>
4. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/>