

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего**  
**образования**  
**"Казанский (Приволжский) федеральный университет"**

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –  
проректор по научной деятельности

  
Д.А. Таюрский

« 30 \_\_\_\_\_ 2023 г.



**Программа вступительного испытания по специальности**

**Уровень высшего образования:** подготовка кадров высшей квалификации

**Тип образовательной программы:** программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

**Научная специальность:** 1.3.9 Физика плазмы

**Форма обучения:** очная

## **Общие указания**

Вступительные испытания по научной специальности 1.3.9 Физика плазмы охватывает стандартные разделы университетских курсов по общей физике и физике плазмы. Также проверяются базовые умения математического аппарата. Вопросы и структура билетов вступительного испытания приведены ниже.

## **Порядок проведения вступительных испытаний**

Вступительное испытание проводится в форме экзамена на основе билетов. В каждом экзаменационном билете по 2 вопроса. Экзамен проходит в письменной форме. Подготовка к ответу составляет 1 академический час (60 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Задания оцениваются от 0 до 100 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов.

## **Критерии оценивания**

Оценка поступающему за письменную работу выставляется в соответствии со следующими критериями.

### **Отлично (80-100 баллов)**

Поступающий обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание материала, умение свободно выполнять задания, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной данной программой, усвоил взаимосвязь основных понятий физики в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

### **Хорошо (60-79 баллов)**

Поступающий обнаружил полное знание вопросов физики, успешно выполнил предусмотренные тестовые задания, показал систематический характер знаний по физике и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

### **Удовлетворительно (40-59 баллов)**

Поступающий обнаружил знание основ физики в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением тестовых заданий, знаком с основной литературой, рекомендованной данной программой, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

### **Неудовлетворительно (менее 40 баллов)**

Поступающий обнаружил значительные пробелы в знаниях основ физики, допустил принципиальные ошибки в выполнении тестовых заданий и не способен продолжить обучение по физике.

## **Вопросы программы вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности 1.3.9 Физика плазмы**

1. Движение заряженных частиц в электрическом поле. Основные уравнения электронной оптики. Электронные линзы.
2. Закон Ленгмюра. Поток заряженных частиц в вакууме с учетом объемного заряда. Пирсова оптика.
3. Движение заряженных частиц в однородном и неоднородном магнитном поле. Магнитные линзы. Дрейфовое приближение. Адиабатические инварианты.
4. Дрейф в поле произвольной силы (электрической, магнитной, центробежной, силы тяжести).
5. Движение заряженных частиц в скрещенных электрическом и магнитном полях. Электростатические энергоанализаторы.
6. Заряженная частица в высокочастотном поле. Законы термо, фото и автоэлектронной эмиссии. Эффект Шоттки. Теория Фаулера. Формула Саха-Ленгмюра.
7. Неупругие процессы в газе – возбуждение, ионизация, перезарядка, термическая ионизация, рекомбинация, образование отрицательных ионов.
8. Зажигание разряда в газе. Закон Пашена. Искровой пробой при высоком давлении, стримерная теория.
9. Электрические разряды (тлеющий, дуговой, коронный, ВЧ-разряд) – сравнительная характеристика параметров и режимов горения.
10. Классификация вакуумных насосов. Электрофизические средства откачки. Низкотемпературные средства откачки (крионасосы).
11. Понятие плазмы. Дебаевский радиус. Плазменная частота. Идеальность и неидеальность плазмы.
12. Вырождение плазмы, статистика Больцмана и Ферми-Дирака. Кулоновское взаимодействие частиц плазмы. Кулоновский логарифм. Длина пробега.
13. Столкновительная проводимость плазмы. “Убегающие электроны”. Время максвеллизации и выравнивания температур между компонентами плазмы.
14. Уравнения Больцмана и Власова, интеграл столкновений. Диффузия и теплопроводность плазмы в присутствии и в отсутствие магнитного поля.
15. Основные типы колебаний и волн в плазме (ленгмюровские, ионно-звуковые, магнитно-звуковые, циклотронные, гибридные, альфвеновские).
16. Ловушка с магнитными пробками. Время жизни плазмы. Неустойчивости плазмы и методы их подавления. Способы создания и нагрева плазмы. Амбиполярные ловушки.
17. Радиационные пояса Земли. Замкнутые магнитные ловушки.
18. Вращательное преобразование и способы его создания. Магнитные поверхности и перекрещенность силовых линий.
19. Плазменные ускорители. Электродинамическое ускорение плазменных сгустков.
20. Зондовые методы диагностики плазмы. Зонд Ленгмюра. Методы диагностики импульсной плазмы.
21. Рентгеновские и электротехнические измерения. Корпускулярные методы. Магнитные энергомассанализаторы.
22. Оптическая спектроскопия плазмы. Корпускулярная диагностика плазмы.
23. Прохождение быстрых частиц через твердое тело. Ядерные и электронные столкновения. Потенциалы взаимодействия.
24. Методы анализа поверхности: вторично-ионная масс-спектрометрия, Ожеспектрометрия, обратное Резерфордское рассеяние, туннельная микроскопия.
25. Общие методы численного решения дифференциальных уравнений кинетического, МГД и одночастичного описания плазмы. Устойчивость численных методов решения задач. Явные и неявные методы решения задачи Коши. Расчет топологии магнитного поля

плазменных ловушек.

26. Сеточные методы расчета распределения потенциала и электрического поля в пространстве с произвольной формой электродов. Численные методы расчета движения заряженных частиц в электрическом и магнитном поле.

27. Метод Рунге-Кутты, обеспечение точности. Математическая модель зет- и тета-пинчей, плазменного фокуса, электродинамического ускорения плазмы в МГД приближении. Моделирование плазмы методом крупных частиц.

28. Общая схема алгоритма дискретной модели плазмы. Проблемы полномасштабного моделирования плазмы на примере моделирования пристеночного слоя плазмы. Транспортные модели в плазме и в веществе.

29. Метод Монте-Карло. Методы численного решения задач переноса частиц, излучения и энергии в плазме и в веществе.

### **Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение программы вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности 1.3.9 Физика плазмы**

#### **Основная литература:**

1. Ю.П. Райзер Физика газового разряда. М.: Наука, 1992, 2009
2. Инжекционная газовая электроника. М.: Наука, 1982.
3. Е.П.Велихов. Физические явления в газоразрядной плазме. М.: Наука, 1987, 1995.
4. Трубников Б.А. Введение в теорию плазмы, МИФИ, ч.1,2 1969, ч.3 - 1978, ч.1 - 1968, ч.2- 1978, ч.3 – 1978
5. Климонтович Ю.Л. Кинетическая теория неидеального газа и неидеальной плазмы. М.: Наука, 1975.
6. Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1976, 1988.
7. Д.А. Франк-Каменецкий. Лекции по физике плазмы. Атомиздат, 1968, 2009
8. И.А.Котельников, Лекции по физике плазмы: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 011200 - Физика и по специальности 010701 - Физика / И.А. Котельников Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013, 384 с.: ил; 24 см.ISBN 978-5-9963-1158-3.
9. Б.А.Князев. Низкотемпературная плазма и газовый разряд: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 510400 - Физика / Б.А. Князев; М-во образования Рос. Федерации, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак. Новосибирск: Редакционно-издательский центр НГУ, 2003, 290 с. : ил. ; 29x20 см.(Физика в НГУ) ISBN 5-94356-137-4.
10. М.Хеглер, М. Кристиансен. Введение в управляемый термоядерный синтез. М.: Мир, 1980.
11. Лукьянов С.Ю. Горячая плазма и управляемый термоядерный синтез. М.: Наука, 1975, 1997, 1999.
12. Хадлстоун Р., Леонард С. Диагностика плазмы. М.: Мир, 1967.
13. Семашко Н.Н. Инжекторы быстрых атомов водорода. М.: Атомиздат, 1981.
14. Животов В.К. и др. Диагностика неравновесной химически активной плазмы. М.: Энергоатомиздат, 1985, 216 с.
15. Взаимодействие заряженных частиц с твердым телом. / Под ред. Альберто Грас-Марти. Москва, Высшая школа, 1994.
16. Ч. Бэдсел, А.Ленгдон «Физика плазмы и численное моделирование»
17. Учебное пособие: Жданов С.К., Курнаев В.А., Романовский М.К., Цветков И.В. «Основы физических процессов в плазме и плазменных установках», МИФИ, 2000, ISBN 5-7262-0333-4

### **Дополнительная литература:**

1. М.Д.Габович, Н.В.Плешивцев, Н.Н.Семашко Пучки ионов и атомов для управляемого термоядерного синтеза
2. Диагностика термоядерной плазмы. Под ред. С.Ю.Лукьянова М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. В.Е.Голант. Высокочастотные методы нагрева плазмы в тороидальных термоядерных установках. М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Н.Г.Басов, И.Г.Лебо, Б.Б.Розанов, Физика лазерного термоядерного синтеза. М.: Знание, 1988.
5. Басов Н.Г., Лебо И.Г., Розанов В.Б. Физика лазерного термоядерного синтеза. М.: Знание, 1988.
6. Барнет К., Харрисон М. Прикладная физика атомных столкновений. Плазма. М.: Энергоатомиздат, 1987, 432 с.
7. И.В. Цветков. Применение численных методов для моделирования процессов в плазме. М: МИФИ. 2007
8. С.К. Жданов, В.А. Курнаев, М.К. Романовский, И.В. Цветков. Основы физических процессов в плазме и плазменных установках. М: МИФИ. 2006
9. Беграмбеков Л.Б. Процессы на поверхности твёрдых тел под действием ионного и плазменного облучения. М: МИФИ. 2008
10. В.А.Курнаев, Д.В.Прохорович, И.К.Фетисов, И.В.Цветков И.В. Ильгисонис, Д.Л. Кирко. Сборник задач по физике плазмы. М: МИФИ. 2008

Программа вступительного испытания в аспирантуру составлена в соответствии с государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования по специальности 1.3.9 Физика плазмы.