

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И. КАНТА



«УТВЕРЖДАЮ»  
Руководитель ОНК  
«Институт высоких  
технологий»

/Юров Артем Валерианович  
«29» ноября 2024 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Научная специальность **2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и  
энергоустановки летательных аппаратов**

## Лист согласования

**Составитель:**

Румянцев А.В., к.ф.-м.н., профессор ОНК «Институт высоких технологий»

Программа одобрена Экспертным советом ОНК «Институт высоких технологий»

Протокол № 5 от «29» ноября 2024 г.

Председатель Экспертного совета ОНК «Институт высоких технологий» \_\_\_\_\_ А.В. Юров



Главный специалист Института подготовки НПК \_\_\_\_\_



Е.И. Козенкова

Настоящая программа разработана для поступающих в аспирантуру на научную специальность 2.5.15 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Абитуриенты, желающие освоить основную образовательную программу подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 2.5.15 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов, должны ознакомиться с Правилами приема в Балтийский федеральный университет им. И. Канта на обучение по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

К освоению программ аспирантуры по научной специальности 2.5.15 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов допускаются лица, имеющие высшее образование, подтверждаемое присвоением им квалификации «специалист», «дипломированный специалист», «магистр», а также лица, имеющие базовое высшее образование (освоение программы сроком не менее 6 лет) или специализированное высшее образование, при выполнении одного из двух условий:

— образование релевантно группе научных специальностей 2.5 Машиностроение (в соответствии со Списком релевантности направлений подготовки по программам магистратуры и специалитета группам научных специальностей (научным специальностям) по программам аспирантуры в 2025 году, утверждённым Ученым советом БФУ им. И. Канта);

— имеется стаж работы в отрасли/должности, соответствующей группе научных специальностей 2.5 Машиностроение, сроком не менее 3 лет.

Целью вступительного испытания является оценка базовых знаний, поступающих в аспирантуру с точки зрения их достаточности для проведения научно-исследовательской деятельности по научной специальности 2.5.15 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Вступительное испытание по специальной дисциплине научной специальности 2.5.15 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов проводится на русском или английском языке по билетам в устной форме. Экзаменационный билет включает 2 вопроса из предлагаемого перечня, а также собеседование с членами экзаменационной комиссии, в ходе которого абитуриент обосновывает выбор научной специальности, выбор предполагаемого научного руководителя из числа преподавателей и научных работников университета, имеющих право осуществлять научное руководство аспирантами по соответствующей научной специальности, излагает профессиональные планы и цели подготовки и защиты кандидатской диссертации по выбранной научной специальности

## Содержание программы

### Раздел 1.

Основные свойства плазмы. Электростатическое экранирование. Плазменные колебания. Скин-эффект. Двойной электрический слой.

Элементарные процессы в плазме. Транспортные сечения, передача импульса и энергии. Передача энергии и импульса в упругих столкновениях. Динамика упругого взаимодействия частиц. Классическая теория упругого рассеяния. Столкновение заряженных частиц: ионизация электронным ударом, электрон-ионная и электрон- электронная трёхчастичная рекомбинация.

Плазма во внешних полях. Гидродинамическое, дрейфовое и ионно-оптическое приближение. Электрический дрейф. Вмороженное магнитное поле. Продольная и поперечная проводимости плазмы.

Проблемы ускорения заряженных частиц плазмы. Газодинамическое ускорение плазмы. Ускорение тяжёлых ионов плазмы электронным ветром. Условия существования в плазме электрического поля.

Эмиссия заряженных частиц. Термоэлектронная и автоэлектронная эмиссии. Газоразрядные источники плазмы и ионов. Прямая и ступенчатая ионизация. Схемы газоразрядных источников ионов и их характеристики. Роль магнитных полей в источниках ионов. Ускорение плазмы и заряженных частиц. Влияние электрических и магнитных полей на движение плазмы и заряженных частиц. Различные механизмы ускорения.

Движение заряженных частиц в электрическом поле. Кулоновские силы. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Сила Лоренца. Ларморовский радиус и циклотронная частота. Движение заряженных частиц в скрещенных электрическом и магнитном полях.

## **Раздел 2.**

Уравнение теплопроводности, закон Фурье, краевые условия задач теплопроводности. Теплопроводность через плоскую стенку, число Био, коэффициент теплопередачи. Теплопроводность твердого тела. Температурная зависимость теплопроводности. Теплопроводность металлов и диэлектриков.

Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена – уравнение неразрывности, движения и энергии. Приведения уравнений к безразмерному виду, критерий подобия. Физический смысл чисел подобия конвективного теплообмена.

Теплообмен при внешнем обтекании тел. Система уравнений теплового пограничного слоя. Анализ теплообмена при ламинарном течении в погранслое методами размерности.

Теплообмен при поперечном обтекании цилиндра, шара.

Особенности радиационного теплообмена и его роль в разных областях температурной шкалы. Различные способы передачи энергии. Роль и значение теплового излучения. Трудности, свойственные проблемам излучения.

Основные понятия и законы излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способность тел. Абсолютно чёрное тело. Законы излучения Вина и Рэлея – Джинса. Закон смещения Вина. Закон Стефана-Больцмана. Интегральная интенсивность и полусферическая интегральная поверхностная плотность потока излучения. Излучение абсолютно черного тела в интервале длин волн. Моделирование абсолютно черного тела в экспериментальных исследованиях. Сводка свойств излучения абсолютно черного тела. Осредненные степени черноты: направленная интегральная степень черноты; полусферические спектральная и интегральная степени черноты.

Радиационные свойства металлов и неметаллов. Влияние температуры и свойств излучающей поверхности. Методы исследования радиационных свойств реальных материалов. Справочные данные. Радиационные свойства металлов и непрозрачных неметаллов. Влияние температуры и состояния поверхности. Экспериментальные результаты исследования излучательных характеристик металлов в области высоких температур.

Теплообмен излучением между поверхностями конечных размеров. Виды лучистых потоков и соотношения между ними. Метод сальдо и понятие об обобщенном методе сальдо. Обобщенный зональный метод. Фундаментальная и смешанная постановки задачи. Особенности радиационного теплообмена в перфорированных системах поверхностей и возможности их использования на космических установках. Сводка ограничений. Теплообмен в системе при наличии экранов. Оценка эффективности экранирования.

Сложный теплообмен: радиационный и кондуктивный; радиационный и конвективный; радиационно-кондуктивно-конвективный. Общие подходы, трудности при решении задачи сложного теплообмена. Теплообмен излучением в космосе.

Теория электропроводимости. Электропроводность металлов и диэлектриков. Энергетические уровни и плотность состояния в одномерном случае. Распределение Ферми – Дирака. Энергия Ферми. Электропроводность и закон Ома. Экспериментальные данные для металлов.

## **Раздел 3.**

Основы метода обобщенных переменных. Выявление формы чисел подобия из математической постановки задачи. Получение чисел подобия на основе анализа размерностей. Использование обобщенных переменных в исследованиях.

Математический эксперимент как средство получения научных результатов. Структура погрешностей. Построение итерационных процессов.

Основные понятия и виды планов. Рациональное планирование. Виды, методы и средства измерений.

Основные способы измерения температуры. Средства измерения температуры контактным способом. Бесконтактные средства измерения температуры. Измерение температур в энергетических реакторах. Измерение криогенных температур. Измерение температуры расплавов. Причины возникновения погрешностей. Погрешности, обусловленные теплообменом теплопроводностью и излучением. Особенности измерения нестационарной температуры.

Принципы и средства измерения расхода. Тепловые расходомеры. Термокомпенсации в тепловых расходомерах. Общие требования к измерительной системе и к показателям расходомера.

### Критерии оценивания уровня знаний

Оценка знаний поступающего в аспирантуру производится по 100-бальной шкале. Максимальный балл за ответ на экзаменационный билет – 100. Минимальный балл, соответствующий положительной оценке – 50.

**86-100 баллов** выставляется экзаменационной комиссией за обстоятельный и обоснованный ответ на все вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Поступающий в аспирантуру в процессе ответа на вопросы экзаменационного билета правильно определяет основные понятия, свободно ориентируется в теоретическом и практическом материале по предложенной тематике. Экзаменуемый показывает всестороннее, систематическое и глубокое знание основного и дополнительного материала, усвоил рекомендованную литературу; может объяснить взаимосвязь основных понятий; проявляет творческие способности в понимании и изложении материала. В ходе собеседования устанавливается высокая степень мотивированности к подготовке и защите кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры, наличие научного задела по теме планируемого исследования, участия в исследовательских проектах, научных грантах, студенческих конкурсах.

**66-85 баллов** выставляется поступающему в аспирантуру за правильные и достаточно полные ответы на вопросы экзаменационного билета, которые не содержат грубых ошибок и неточностей в трактовке основных понятий и категорий, но в процессе ответа возникли определенные затруднения при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Экзаменуемый показывает достаточный уровень знаний в пределах основного материала; усвоил литературу, рекомендованную в программе; способен объяснить взаимосвязь основных понятий при дополнительных вопросах экзаменатора. Допускает несущественные погрешности в ответах. В ходе собеседования устанавливается высокая степень подготовленности поступающего в аспирантуру к проведению самостоятельных научных исследований по выбранной научной специальности и мотивированности к подготовке кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры и ее защите.

**50-65 баллов** выставляется поступающему в аспирантуру при недостаточно полном и обоснованном ответе на вопросы экзаменационного билета и при возникновении серьезных затруднений при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Экзаменуемый показывает знания основного материала в минимальном объеме, знаком с литературой, рекомендованной программой. Допускает существенные погрешности в ответах, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством экзаменато-

ра. В ходе собеседования устанавливается низкая степень подготовленности поступающего в аспирантуру к проведению самостоятельных научных исследований (в том числе на основании анализа представленных индивидуальных достижений) по выбранной научной специальности; мотивация к подготовке кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры низкая или совсем отсутствует

**0-49 баллов** выставляется в случае отсутствия необходимых для ответа на вопросы экзаменационного билета теоретических и практических знаний. Экзаменуемый показывает пробелы в знаниях основного материала, допускает принципиальные ошибки в ответах, не знаком с литературой, не может исправить допущенные ошибки самостоятельно.

### **Основная литература**

1. Морозов А.И. Введение в плазмодинамику. – 2-ое изд. испр. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 616 с.
2. Модель космоса: Научно информационное издание: В 2-х т. / Под ред. М.М. Панасюка, Л.С. Новикова / М.: КДУ, 2007. – 1144 с.
3. С.Д. Гришин, Л.В.Лесков, Н.П.Козлов. Плазменные ускорители. – Москва, Машиностроение, 1983. – 226 с.
4. Смирнов Б.М. Введение в физику плазмы. – М.: Наука, 1982.
5. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. – М.: Атомиздат, 1964.
6. Арцимович Л.А. Сагдеев Р.Э. Физика плазмы для физиков. М.: 1979
7. Ахиезер И.А. и др. Электродинамика плазмы. – М.: Наука 1974.
8. М.Д. Габович. Физика и техника плазменных источников ионов. Москва.: Атомиздат, 1972. – 304 с.
9. Кириллин В.А., Сычёв В.В., Шейндлин А.Е., Техническая термодинамика – М.: Энергоатомиздат, 1983 –447с.
10. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Учебник для вузов. – 4-е изд. М.: Энергия, 1981. – 417с.
11. Знгель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением. М, Мир, 1975. – 934 с.
12. Сперроу Э.М., Сесс Р. Д. Теплообмен излучением. Л., Энергия, 1972.
13. Румянцев А.В. Теплообмен излучением: учебное пособие. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2015. – 119 с.
14. Румянцев А.В. Теория и практика теплофизического эксперимента: учеб. пособие. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2011. – 71 с.
15. Румянцев А.В. Введение в физику конденсированного состояния вещества: учебное пособие. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2012. – 118 с.
16. Румянцев А.В. Универсальные тепловые микрорасходомеры газа. Калининград.: Изд-во РГУ им. И. Канта. 2010. – 203 с.
17. Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. М.: Учебник для вузов. / – М.: Энергоатомиздат. 1984. – 232 с.
18. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: Изд-во МЭИ, 2005. – 550 с.
19. Ярышев Н.А. Теоретические основы измерения нестационарной температуры. Л.: Энергоатомиздат. 1990. – 256 с.
20. Лысиков Б.В., Прозоров В.К. Реакторная термометрия, М.: Атомиздат, 1980.
21. Филиппов Л.П. Измерения теплофизических свойств вещества. М.: Энергоатомиздат, 1984. – 325 с.
22. Домрачева Л.С. Синтез систем измерения нестационарных температур газовых потоков – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.
22. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. Л.: Машиностроение, 1989.

### **Дополнительная литература**

1. Румянцев А.В., Брюханов О.Н., Федянин В.Е. Сборник задач по радиационному и сложному теплообмену. Калининград.: Изд. КГУ, 1979. – 79 с.

2. Шпильрайн Э.Э., Кессельман П.М. Основы теории теплофизических свойств веществ – М.: Энергия, 1977- 248с.
3. Бураковский Т., Гизиньский Е., Саля А. Инфракрасные излучатели: Пер. с польск.– Л.: Энергия, 1978. – 408 с.
4. Гордов А.Н. Основы пирометрии. М.: Металлургия. 1971.