

**Программа**  
**вступительного испытания по специальной дисциплине**  
**в аспирантуру НИЦ «Курчатовский институт»**  
**по группе научных специальностей:**  
**1.3. Физические науки**  
**1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника**

**1. Общие положения.**

1.1. Данная программа предназначена для подготовки к вступительным испытаниям в аспирантуру по специальной дисциплине. Программа вступительных испытаний в аспирантуру подготовлена в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (уровень магистра или специалиста).

Экзамен проводится с целью выявления у поступающего объёма научных знаний, научно-исследовательских компетенций, навыков системного и критического мышления, необходимых для обучения в аспирантуре. Поступающий должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию.

1.2. Программой устанавливается:

форма, структура, процедура сдачи вступительного испытания;

шкала оценивания;

максимальное и минимальное количество баллов для успешного прохождения вступительного испытания;

критерии оценки ответов.

1.3. Вступительное испытание проводится на русском языке.

1.4. Организация и проведение вступительного испытания осуществляется в соответствии с Правилами приема, утвержденными приказом НИЦ «Курчатовский институт».

1.5. 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, процедура проведения и шкала оценивания вступительного испытания**

2.1. Вступительное испытание проводится в форме экзамена на основе билетов. Каждый экзаменационный билет содержит по 2 вопроса. Экзамен проходит в устной форме. Подготовка к ответу составляет 1 астрономический час (60 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Ответ на билет оценивается от 0 до 10 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов.

Билет включает в себя два вопроса по общефизическим и математическим дисциплинам, один вопрос по дисциплине специализации.

Вопросы по общей физике охватывают следующие темы: колебания и волны, основы молекулярной физики, термодинамики, оптики, а также квантовой и ядерной физики.

Вопросы по высшей математике призваны определить на основе решения конкретных математических примеров уровень владения поступающим в аспирантуру математическими навыками, необходимыми при решении физических задач.

Вопросы по дисциплине специализации включают в себя вопросы по научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

В случае проведения экзамена в дистанционном формате вступительное испытание проводится в режиме видеоконференцсвязи.

2.2. Собеседование по специальной дисциплине оценивается по 10-балльной шкале. Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания по специальной дисциплине, устанавливается равным 4 баллам.

### **Шкала оценивания**

<b>Оценка, баллы</b>	<b>Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой</b>
9-10	Поступающий уверенно владеет материалом, приводит точные формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, сопровождает их строгими и полными доказательствами, уверенно

	отвечает на дополнительные вопросы программы вступительного испытания.
6-8	Поступающий владеет материалом, приводит точные формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, сопровождает их доказательствами, в которых допускает отдельные неточности. Отвечает на большинство дополнительных вопросов по программе вступительного испытания.
4-5	Поступающий знаком с основным материалом программы, приводит формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, но допускает некоторые неточности, сопровождает их доказательствами, в которых допускает погрешности либо описывает основную схему доказательств без указания деталей. Отвечает на дополнительные вопросы по программе вступительного испытания, допуская отдельные неточности.
0-3	Поступающий не владеет основным материалом программы, не знаком с основными понятиями, не способен приводить формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, не умеет доказывать теоремы и другие утверждения, не знает даже схемы доказательств. Не отвечает на большинство дополнительных вопросов по программе вступительного испытания.

### **3. Вопросы к вступительному испытанию**

#### **3.1. Вопросы по общей физике**

##### **Колебания, основы молекулярной физики и термодинамики**

1. Свободные колебания системы без трения. Математический маятник. Физический маятник. Сложение гармонических колебаний одного направления. Биения. Затухающие колебания. Вынужденные колебания. Резонанс.

2. Различные формы записи уравнения состояния идеального газа. Уравнение адиабаты идеального газа. Работа, совершаемая идеальным газом при политропическом и адиабатическом процессе. Физический смысл энтропии идеального газа.

3. Число ударов молекул газа о стенку. Газокинетический вывод выражения для давления газа на стенку. Основное уравнение молекулярнокинетической теории газов.

4. Распределение Максвелла. Наиболее вероятная скорость молекул, средняя арифметическая и средняя квадратичная скорости молекул. Распределение Больцмана. Распределение молекул по координатам. Барометрическая формула.

5. КПД тепловой машины. КПД цикла Карно. Теорема Карно.

6. Явления переноса. Диффузия газов. Газокинетический вывод выражения для коэффициента диффузии. Вязкость газов. Газокинетический вывод выражения для коэффициента вязкости. Теплопроводность газов. Газокинетический вывод выражения для коэффициента теплопроводности.

### **Основы электромагнетизма**

1. Линии напряженности электрического поля и эквипотенциальные поверхности. Связь между напряженностью и потенциалом. Работа силы электрического поля. Потенциал.

2. Электрический диполь в однородном и неоднородном поле (вращательный момент, энергия, сила). Дипольный электрический момент системы зарядов. Поле электрического диполя.

3. Поле вне и внутри объемно заряженного шара. Поле одной и двух заряженных плоскостей.

4. Емкость. Конденсаторы. Емкость плоского конденсатора. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля. Плотность энергии.

5. Сила и плотность тока. Закон Ома и закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах. Мощность тока. Удельная тепловая мощность тока.

6. Магнитное поле равномерно движущегося заряда. Сила Лоренца. Сила, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле.

7. Закон Био-Савара-Лапласа. Теорема о циркуляции. Поле в центре и на оси кругового тока. Поле бесконечного прямого тока. Контур с током в однородном и неоднородном магнитном поле (вращательный момент, энергия, сила).

8. Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. ЭДС индукции. Индуктивность соленоида. Токи замыкания и размыкания. Энергия магнитного поля.

9. Ток смещения. Полный ток. Уравнения Максвелла.

### **Основы волновой оптики**

1. Волновое уравнение. Уравнение плоской волны.

2. Эффект Доплера для звуковых и электромагнитных волн.

3. Принцип Гюйгенса. Принцип Ферма. Законы отражения и преломления.

4. Явление интерференции. Сложение двух электромагнитных волн. Интенсивность суммарной волны.

5. Временная когерентность, длина когерентности на примере опыта Юнга с монохроматическим протяженным источником.

6. Способы наблюдения интерференции света (зеркало Ллойда, бипризма и бизеркала Френеля).

7. Интерференционные полосы равного наклона. Интерференционные полосы равной толщины. Простой клин.

8. Кольца Ньютона. Интерференция света на тонких пленках. Просветление оптики.

9. Графическое сложение амплитуд. Зоны Френеля.

10. Дифракция Френеля на круглом отверстии и на диске. Дифракция Френеля на щели. Дифракция Фраунгофера на щели.

11. Дифракционная решетка. Положение и угловая ширина главных дифракционных максимумов дифракционной решетки. Дисперсия и разрешающая способность дифракционной решетки.

12. Дифракция рентгеновских лучей. Формула Брэгга-Вульфа.

### **Основы квантовой физики, строения вещества, атомной и ядерной физики**

1. Экспериментальные законы теплового излучения (Стефана-Больцмана, Вина).

2. Формула Планка. Вывод закона Стефана-Больцмана из формулы Планка.

3. Фотоэффект. Уравнение А.Эйнштейна для фотоэффекта.

4. Опыт Боте. Фотоны.

5. Эффект Комптона.

6. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца.

7. Элементарная боровская теория водородоподобного атома.

8. Гипотеза де-Бройля. Экспериментальные основания квантовой механики.

9. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Оценка размеров и минимальной энергии водородоподобного атома.

10. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Оценка минимальной

энергии одномерного гармонического осциллятора.

11. Уравнение Шредингера. Физический смысл и свойства пси-функции.

12. Частица в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме. Результаты квантовой механики для одномерного гармонического осциллятора.

13. Результаты квантовой механики для водородоподобного атома.

14. Собственный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора.

15. Принцип Паули. Заполнение электронных оболочек атома. Электронные конфигурации.

16. Характеристические рентгеновские спектры. Закон Мозли.

17. Комбинационное рассеяние света. Эффект Рамана.

18. Энергетические зоны в твердых телах. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Собственные и примесные полупроводники. Электронная и дырочная проводимость.

### **Литература**

1. Базаров И. П. Б 17. Термодинамика: Учебник. 5 е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 384 с.

2. Молекулярная физика. Матвеев А.Н. М.: Высшая школа, 1981. – 400 с.

3. Савельев И.В. Курс общей физики, в 3-х томах. М.: Наука, 1982.

4. Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма. М.: Высшая школа, 1991.

5. Иродов И.Е. Волновые процессы. М., СПб: Физматлит, 2002.

### **3.2. Вопросы по высшей математике**

1. Понятие производной функции. Основные правила дифференцирования функций. Нахождение экстремумов функции.

2. Понятие матрицы. Определитель матрицы и его вычисление.

3. Система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Методы решения СЛАУ: метод Гаусса, метод Крамера. Критерий существования нетривиального решения системы однородных линейных алгебраических уравнений.

4. Понятие первообразной функции. Вычисление неопределенных

и определённых интегралов, в том числе несобственных.

5. Понятие числового ряда. Признаки сходимости числовых рядов. Разложение функции в ряд Тейлора.

6. Понятия градиента функции, дивергенции, ротора и циркуляции векторного поля. Теоремы Остроградского-Гаусса и Стокса.

7. Понятие обыкновенного дифференциального уравнения. Типы ОДУ первого порядка и методы их решения: уравнение с разделяющимися переменными, однородное ОДУ, уравнение в полных дифференциалах, линейное дифференциальное уравнение, уравнения, не разрешённые относительно производной.

8. Линейное дифференциальное уравнение произвольного порядка с постоянными коэффициентами. Методы его решения.

9. Система линейных дифференциальных уравнений первого порядка. Методы её решения.

10. Понятие аналитической функции. Разложение функции, аналитической в кольце, в ряд Лорана. Классификация изолированных особых точек. Вычеты. Основная теорема о вычетах и её приложения.

11. Основные уравнения математической физики. Классификация линейных дифференциальных уравнений с частными производными второго порядка с двумя независимыми переменными.

12. Решение краевых задач для уравнений гиперболического и параболического типов методом Фурье.

13. Решение задачи Коши для волнового уравнения в одномерном случае.

### **Литература**

1. Бронштейн И.Н. Справочник по математике: Для инженеров и учащихся втузов./И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев, 13-е изд., испр. -М.: Наука, 1986.-544 с.

2. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике (12-е изд.). М.: Наука, 1977.

3. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры: Учеб. для спец. вузов/Беклемишев Д.В.-6-е изд., стереотип. -М.:Наука,1987. 319с.

4. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики: Учеб. пособие для вузов /Тихонов А.Н., Самарский А.А. 5-е изд., стереотип. - М.: Наука, 1977. - 735 с.

### **3.3. Вопросы по научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника**

1. Параметры состояния. Понятие о термодинамическом процессе. Термодинамические функции.

2. Идеальный газ. Законы идеального газа. Уравнение состояния идеального газа.

3. Теплота. Опыт Джоуля. Эквивалентность теплоты и работы. Закон сохранения и превращения энергии.

4. Внутренняя энергия и внешняя работа. Энтальпия. Уравнение первого закона термодинамики.

5. Циклы. Понятие термического КПД. Источники теплоты. Обратимые и необратимые процессы. Формулировка второго закона термодинамики. Цикл Карно. Теорема Карно.

6. Термодинамическая шкала температур. Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики.

7. Термические и калорические свойства жидкостей. Критическая точка. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Термические и калорические свойства реальных газов и влажного воздуха.

8. Уравнение состояния реальных газов. Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов и в критической точке. Термодинамические свойства вещества в метастабильном состоянии.

9. Процессы истечения газов и жидкостей. Параметры торможения. Сопло, диффузор. Полное и статическое давление. Уравнение Бернулли. Число Маха. Показатель адиабаты.

10. Уравнения состояния жидкости и плотных газов. Плотность, сжимаемость, теплоемкость.



11. Термический КПД. Циклы Карно, Отто, Дизеля, Брайтона, Ренкина. Регенерация теплоты в цикле.

12. Уравнение сохранения энергии, закон Фурье, краевые условия задач теплопроводности. Механизм теплопроводности веществ в твердом (кристаллическом и аморфном), жидком и газообразном состояниях. Теплопроводность через плоскую стенку. Число Био. Коэффициент теплопередачи.

13. Теплопроводность через цилиндрическую стенку, критический диаметр изоляции. Нестационарное температурное поле в плоской пластине, регулярный режим охлаждения (нагрева) тел. Метод перемножения решений.

14. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошной среде. Эмпирические законы переноса (Ньютона, Фурье, Фика). Приведение уравнений к безразмерному виду, критерии подобия. Физический смысл чисел подобия конвективного тепло- и массообмена.

15. Система уравнений теплового пограничного слоя. Анализ теплообмена при ламинарном течении в пограничном слое методами размерностей. Автомодельное решение Польгаузена. Соотношения для расчета теплообмена при различных числах Прандтля. Условные толщины пограничного слоя. Интегральные уравнения импульса и энергии.

16. Переход ламинарного течения в турбулентное, влияние на турбулентный переход параметров набегающего потока, массовых сил, характеристик обтекаемой поверхности.

17. Теоретические и экспериментальные аспекты перехода ламинарного течения в турбулентное. Осредненные уравнения движения и энергии для турбулентного течения.

18. Структура пристенной турбулентной области. Аналогия Рейнольдса для теплообмена при турбулентном течении в пограничном слое, ее модернизированный вариант (двухслойная схема), расчетные соотношения для теплоотдачи.

19. Конвективный теплообмен при высоких скоростях течения. Адиабатическая температура стенки, методы расчета теплоотдачи. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра и пучков труб.

20. Математическое описание, среднемассовая скорость и температура. Стабилизированный теплообмен при граничных условиях 2-го рода. Профили скорости, температуры, теплового потока при ламинарном и турбулентном течении, интеграл Лайона.

21. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в начальном термическом участке круглой трубы. Начальный гидродинамический участок. Стабилизированный теплообмен при ламинарном течении.

22. Стабилизированный теплообмен при турбулентном течении, результаты исследований для неметаллических жидкостей и жидких металлов, расчетные формулы. Влияние переменности свойств жидкости на теплообмен при течении капельных жидкостей и газов в трубах.

23. Механизм и математическое описание, приближение Буссинеска. Развитие пограничного слоя на вертикальной плоской поверхности, расчет коэффициента теплоотдачи. Свободная конвекция на поверхности горизонтального цилиндра и сферы. Свободная конвекция в замкнутых объёмах.

24. Математическое описание и модели двухфазных сред. Универсальные условия совместности на межфазных границах. Специальные условия совместности для процессов тепло- и массообмена.

25. Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при пленочной конденсации на вертикальной поверхности: решение Нуссельта, анализ основных допущений.

26. Конденсация на поверхности горизонтального цилиндра. Конденсация движущегося пара.

27. Кипение жидкостей. Условия зарождения парового зародыша в объеме перегретой жидкости и на твердой поверхности нагрева. Основные закономерности роста и отрыва паровых пузырьков. «Кривая кипения». Теплообмен при пузырьковом кипении в большом объеме, теплообмен при пленочном кипении. Кризисы кипения в большом объеме.

28. Режимы течения двухфазных потоков в трубах. Характер изменения среднемассовой температуры жидкости, температуры стенки, расходного массового

паросодержания по длине обогреваемого канала.

29. Кипение жидкости, недогретой до температуры насыщения. Кризис теплоотдачи при кипении в трубах.

30. Основные понятия и законы излучения. Природа излучения. Интегральная и спектральная плотности потока излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел. Абсолютно черное тело.

31. Законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта). Излучение реальных тел. Радиационные свойства реальных материалов.

32. Теплообмен излучением в диатермичной среде. Геометрия излучения (локальные и средние угловые коэффициенты). Зональный метод расчета теплообмена в системе тел, разделенных прозрачной средой.

33. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средний температурный напор. Расчет поверхности теплообмена, конечной температуры теплоносителей. Основы гидравлического расчета теплообменников. Определение мощности, затрачиваемой на прокачку теплоносителей.

### **Литература**

1. Савельев И.В. Курс общей физики, в 3-х томах. М.: Наука, 1982..
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика, Т. 5. М.: Наука, 2001.
3. Квасников И.А. Теория равновесных систем. Термодинамика. Т.1., Статистическая физика, Т. 2. Изд-во УРСС, М, 2002.
4. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. Новосибирск, Изд-во Новосибирского ун-та, 2000.
5. Миронова Г.А., Брандт Н.Н., Салецкий А.М. Молекулярная физика и термодинамика в вопросах и задачах. СПб: Лань, 2012. 480с.
6. Фортов В.Е. Уравнения состояния вещества: от идеального газа до кварк-глюонной плазмы: Москва: Физматлит, 2012. 522с.
7. Базаров И. П. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 2010.
8. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергия, 1980.
9. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983.

10. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – М.: Атомиздат, 1979.
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. – Изд. 5-е, стереотип. – М.: Физматлит, 2006.
12. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967.
13. Новиков И.И., Боришанский В.М. Теория подобия в термодинамике и теплопередаче. – М.: Атомиздат, 1979.
14. Кириллов П.Н., Богословский Г.П. Теплообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Энергоатомиздат, 2000.
15. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
16. Тепло-и массообмен теплотехнический эксперимент./Справочник. /Под общ. Ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. М.: Энергоатомиздат, 1982. –518 с.
17. Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. Издание 3-е. – М.: Высшая школа, 1986.