

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ и ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
 «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Физико-технологический институт





УТВЕРЖДАЮ
 Проректор по науке
 А.В. Германенко
 _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
 Теплофизика и теоретическая теплотехника

Перечень сведений о рабочей программе дисциплины	Учетные данные
Программа аспирантуры..... Теплофизика и теоретическая теплотехника	Код ПА... 1.3.14
Группа специальностей Физические науки	Код 1.3
Федеральные государственные требования (ФГТ)	Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951
Самостоятельно утвержденные требования (СУТ)	Приказ «О введении в действие «Требований к разработке и реализации программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре УрФУ» №315/03 от 31.03.2022

Екатеринбург
 2022 г.

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Структурное подразделение	Подпись
1	Токманцев Валерий Иванович	доктор технических наук, доцент	заведующий кафедрой	кафедра технической физики	
2	Мелких Алексей Вениаминович	доктор физико- математических наук, доцент	профессор	кафедра технической физики	

Рекомендовано учебно-методическим советом Физико-технологического института

Протокол № 1 от 09.09.22г.

Председатель учебно-методического совета



С.В.Никифоров

Согласовано:

Начальник ОПНПК



Е.А. Бутрина

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ Теплофизика и теоретическая теплотехника

1.1. Аннотация содержания дисциплины

Дисциплина включена в базовую часть блока 1 программы аспирантуры.

Дисциплина «Теплофизика и теоретическая теплотехника» направлена на подготовку к сдаче кандидатского минимума по специальности 1.3.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника», осуществление научно-исследовательской деятельности аспиранта и подготовку диссертации.

В ходе освоения дисциплины аспиранты углубленно изучают физику газов и жидкостей: их равновесные свойства, кинетические процессы, поверхностные явления, методы исследования.

1.2. Язык реализации дисциплины - русский

1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Примерные направления исследований:

1. Разработка методов исследования гидродинамики и теплообмена в физико-технических системах.
2. Разработка экспериментальных установок для исследования теплообмена с использованием тепловизионной техники.
3. Разработка методики компьютерного моделирования процессов переноса в быстровращающихся газовых смесях.
4. Разработка методов локального 3D-анализа примесей в твердых телах методом вторичной ионной масс-спектрометрии высокого разрешения.
5. Разработка методов получения высококонцентрированных растворов и возможных соединений изотопов гелия.

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

физические и математические модели процессов переноса массы, импульса и энергии; методы теоретических оценок, расчетов и проектирования в области теплофизики и теоретической теплотехники;

методики проведения экспериментальных работ;

особенности тепловых схем и технологического оборудования АЭС.

Уметь:

осуществлять сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации в области энергетических систем различного назначения;

производить выбор и обоснование методик и средств решения поставленных задач;

использовать математические методы в технических приложениях для моделирования процессов, имитирующих эксплуатацию теплофизического оборудования.

Владеть:

пониманием физических основ процессов тепломассопереноса.

Демонстрировать навыки и опыт деятельности

разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить анализ их результатов;

готовить научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований.

1.4. Объем дисциплины

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	6
1.	Аудиторные занятия	4	4	4
2.	Лекции	4	4	4
3.	Практические занятия	0	0	0
4.	Самостоятельная работа аспирантов, включая все виды текущей аттестации	86	0,6	86
5.	Промежуточная аттестация	18	2,33	Экзамен, 18
6.	Общий объем по учебному плану, час.	108	6,93	108
7.	Общий объем по учебному плану, з.е.	3		3

*Контактная работа составляет:

в п/п 2,3, - количество часов, равное объему соответствующего вида занятий;

в п.4 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на консультации в группе (15% от объема аудиторных занятий).

в п.5 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на проведение соответствующего вида промежуточной аттестации одного аспиранта.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	История и методология физики газов и жидкостей. Основные модели газов и жидкостей: разреженные и плотные газы, простые и не простые жидкости. Научная и практическая значимость исследований строения, равновесных и неравновесных свойств газов и жидкостей. Современное состояние науки в области физики газообразного и жидкого состояний вещества
P2	Межмолекулярные силы	Близкодействующие силы отталкивания и дальнедействующие силы притяжения. Полярные и неполярные молекулы. Поляризуемость молекул. Ориентационные силы. Индукционные силы. Дисперсионные силы Лондона. Модельные потенциалы: твердые сферические молекулы, точечный центр отталкивания, потенциалы Леннард-Джонса, Сюзерленда, Морзе, Букингема. Определение потенциальных параметров из опытных данных.
P3	Равновесные свойства газа	Формальный вывод уравнения состояния в статистической механике для газов малой и умеренной плотности. Вывод уравнения состояния с помощью статистической суммы и теоремы вириала. Вириальные коэффициенты для различных моделей межмолекулярного потенциала. Термодинамические функции. Плотные газы. Закон соответственных состояний. Уравнения состояния для твердых сфер и потенциала Леннард-Джонса.

P4	Равновесие жидкость-пар	Термодинамические функции. Равновесие жидкость-пар и критические явления. Промежуточная область между жидкостью и паром. Поверхностное натяжение. Фазовые переходы.
P5	Гидродинамика	Идеальная и вязкая жидкость. Уравнения Эйлера и Навье-Стокса. Обтекание тела потоком идеальной жидкости с циркуляцией. Эффект Магнуса. Диссипация кинетической энергии вязкой несжимаемой жидкости. Устойчивость стационарного движения вязкой жидкости. Пограничный слой: гидродинамика и теплообмен.
P6	Теплообмен	Классификация явлений теплообмена. Теплопроводность. Вынужденная и естественная конвекция. Лучистый теплообмен. Тепловое излучение. Законы излучения Ламберта, Стефана-Больцмана, Рэлея-Джинса, Планка. Закон смещения Вина. Тепловые трубы.
P7	Физическая кинетика газов	Уравнение Больцмана. H-теорема. Метод Чепмена-Энскога. Коэффициенты переноса: вязкости, теплопроводности, взаимной диффузии и термодиффузии. Экспериментальные методы исследования коэффициентов переноса. Моментный метод Грэда. Тринадцатимоментное приближение. Связь с методом Чепмена-Энскога. Модельные кинетические уравнения с частотой столкновений, независимой от скорости молекул.
P8	Термодинамика необратимых процессов	Уравнение баланса энтропии. Производство энтропии. Принцип минимального производства энтропии. Обобщенные потоки. Симметрия коэффициентов Онзагера. Перекрестные эффекты. Кинетическая теория газов и термодинамика необратимых процессов.
P9	Равновесные свойства жидкости	Тепловое движение молекул в жидкости. Теория и модели жидкого состояния. Простые жидкости, расплавленные металлы. Парные корреляционные функции. Радиальная функция распределения. Уравнение Боголюбова для радиальной функции распределения. Приближение Перкуса-Йефика. Экспериментальные методы исследования структуры жидкости. Рентгеновские, электронные и нейтронные методы изучения структуры жидкости.
P10	Метастабильная жидкость	Уравнение состояния. Частота зародышеобразования. Теория Деринга-Фольмера и Зельдовича-Кагана. Экспериментальные методы изучения метастабильной жидкости. Инициирование зародышей паровой фазы в жидкости. Взрывное вскипание жидкости. Спинодальный распад.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1. Практические занятия

Не предусмотрено.

3.2. Примерная тематика самостоятельной работы

Не предусмотрено.

3.2.1. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)

Не предусмотрено.

3.2.2. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

Не предусмотрено.

4. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (Приложение 1)

4.1. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений аспирантов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
Знания	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
Умения	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов,	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)

	в предсказуемо изменяющейся ситуации	непредсказуемо изменяющейся ситуации	
Личностные качества	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

4.2. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

4.2.1. Перечень примерных вопросов для зачета

Не предусмотрено.

4.2.2. Перечень примерных вопросов для экзамена

1. Межмолекулярные взаимодействия. Близкодействующие силы отталкивания и дальнедействующие силы притяжения. Полярные и неполярные молекулы. Поляризуемость молекул. Ориентационные силы. Индукционные силы. Дисперсионные силы Лондона.
2. Модельные потенциалы: твердые сферические молекулы, точечный центр отталкивания, потенциалы Леннард-Джонса, Сюзерленда, Морзе, Букингема. Определение потенциальных параметров из опытных данных.
3. Равновесные свойства газа. Вывод уравнения состояния с помощью статистической суммы и теоремы Вириала. Вириальные коэффициенты. Вириальные коэффициенты для различных моделей межмолекулярного потенциала.
4. Термодинамические функции. Плотные газы. Закон соответственных состояний. Уравнения состояния для твердых сфер и потенциала Леннард-Джонса.
5. Термодинамические функции. Равновесие жидкость-пар и критические явления. Промежуточная область между жидкостью и паром.
6. Поверхностное натяжение. Фазовые переходы.
7. Идеальная и вязкая жидкость. Уравнения Эйлера и Навье-Стокса.
8. Обтекание тела потоком идеальной жидкости с циркуляцией. Эффект Магнуса.
9. Диссипация кинетической энергии вязкой несжимаемой жидкости.
10. Устойчивость стационарного движения вязкой жидкости.
11. Пограничный слой: гидродинамика и теплообмен.
12. Классификация явлений теплообмена. Теплопроводность. Вынужденная и естественная конвекция. Лучистый теплообмен.
13. Тепловое излучение. Законы излучения Ламберта, Стефана-Больцмана, Рэлея-Джинса, Планка. Закон смещения Вина.
14. Тепловые трубы.
15. Уравнение Больцмана. Н-теорема.
16. Метод Чепмена-Энскога.
17. Коэффициенты переноса: вязкости, теплопроводности, взаимной диффузии и термодиффузии.
18. Экспериментальные методы исследования коэффициентов переноса.
19. Моментный метод Грэда. Тринадцатимоментное приближение. Связь с методом Чепмена-Энскога.

20. Уравнение баланса энтропии. Производство энтропии. Принцип минимального производства энтропии. Симметрия коэффициентов Онзагера. Перекрестные эффекты. Кинетическая теория газов и термодинамика необратимых процессов.
21. Тепловое движение молекул в жидкости. Теория и модели жидкого состояния. Простые жидкости, расплавленные металлы.
22. Парные корреляционные функции. Радиальная функция распределения. Уравнение Боголюбова для радиальной функции распределения.
23. Приближение Перкуса-Йевики.
24. Экспериментальные методы исследования структуры жидкости. Рентгеновские, электронные и нейтронные методы изучения структуры жидкости.
25. Метастабильная жидкость. Уравнение состояния. Частота зародышеобразования. Теория Деринга-Фольмера и Зельдовича-Кагана.
26. Экспериментальные методы изучения метастабильной жидкости. Инициирование зародышей паровой фазы в жидкости.
27. Взрывное вскипание жидкости
28. Спинодальный распад жидких смесей

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1.Рекомендуемая литература

5.1.1. Основная литература

- 1 Дж. Гиршфельдер, Ч. Кертисс, Р. Берд. Молекулярная теория газов и жидкостей / Дж. Гиршфельдер, Ч. Кертисс, Р. Берд ; пер. с англ. под ред. Е. В. Ступоченко .— Москва : Иностранная литература, 1961 .— 929 с : ил. — Библиогр. в конце гл. (2 экз.)
2. Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. Термодинамика, статистическая физика и кинетика : Учеб. пособие для вузов .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Наука, 1977 .— 552 с. : граф. ; 22 см .— Библиогр.: с. 551. — 1.50. (10 экз.)
3. М.Н. Коган. Динамика разреженного газа. Кинетическая теория / М. Н. Коган .— Москва : Наука, 1967 .— 440 с. : ил. — Указ.: с. 434-440. (1 экз.)
4. Дж. Ферцигер, Г. Капер. Математическая теория процессов переноса в газах / Д. Ферцигер, Г. Капер ; пер. с англ. под ред. Д. Н. Зубарев ; пер. с англ. под ред. А. Г. Башкиров .— Москва : Мир, 1976 .— 554 с. — Режим доступа: электронная библиотечная система «Университетская библиотека ONLINE», требуется авторизация .— [<URL:https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=495509>](https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=495509).
5. С. де-Гроот, П. Мазур. Неравновесная термодинамика / С. Р. де Гроот, П. Мазур ; Пер. с англ. В. Т. Хозяинова; Под ред. Д. Н. Зубарева .— М. : Мир, 1964 .— 456 с. — Библиогр. в конце глав .— 1-94 .— 25-00.(6 экз.)
6. К. Крокстон. Физика жидкого состояния. Статистическое введение : Пер. с англ. / Под ред. А.И. Осипова .— М. : Мир, 1978 .— 400с. — 2.80. (9 экз.)
7. Л.Г. Лойцянский. Механика жидкости и газа : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 010500 "Механика" / Л. Г. Лойцянский .— Изд. 7-е, испр. — М. : Дрофа, 2003 .— 840 с. : ил. ; 26 см .— (Дрофа. Высшее образование) (Классики отечественной науки) .— Указ.: с. 831-840. — Библиогр. в примеч. — Рекомендовано в качестве учебника .— ISBN 5-7107-6327-6. (8 экз.)

5.1.2. Дополнительная литература

1. Дж. Уленбек, Дж. Форд. «Лекции по статистической механике : перевод с английского / Дж. Уленбек, Дж. Форд ; под ред. И. А. Квасникова .— Москва : Мир, 1965 .— 307 с. : ил. — Библиогр.: с. 279-280 (37 назв.) и с. 303 (3 назв.). (4 экз.)

2. Ю.Л. Климонтович. «Статистическая теория открытых систем. [Т. 1] / Ю. Л. Климонтович .— М. : Янус, 1995 .— 624 с. — ISBN 5-88929-001-0 : 25000-00. (1 экз.)
3. В.Г. Черняк, П.Е. Суетин. Механика сплошных сред : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. бакалавров "Физика" / В. Г. Черняк, П. Е. Суетин .— Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006 .— 352 с. : ил. ; 22 см .— Предм. указ.: с. 351-352. — Библиогр.: с. 350 (32 назв.). — Допущено в качестве учебного пособия .— ISBN 5-9221-0714-3. (1 экз.)
4. И.П. Базаров, Э.В. Геворкян, П.Н. Николаев. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика : учеб. пособие для ун-тов / И. П. Базаров, Э. В. Геворкян, П. Н. Николаев .— М. : Изд-во МГУ, 1989 .— 240 с. : ил. — ISBN 5-211-00351-9. (16 экз.)

5.2. Методические разработки

Не используются.

5.3. Программное обеспечение

Не используется.

5.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Платформа Springer Link
2. Платформа Nature
3. База данных Springer Materials
4. База данных Springer Protocols
5. База данных zbMath
6. База данных Nano
7. База данных Кембриджского центра структурных данных CSD Enterprise

5.5. Электронные образовательные ресурсы

Все аспиранты имеют полный доступ к перечисленным ресурсам, в т.ч. через авторизованный доступ из сети интернет:

1. Международный индекс научного цитирования Scopus компании Elsevier B.V.
2. Международный индекс научного цитирования Web of Science компании Clarivate Analytics
3. eLibrary ООО Научная электронная библиотека.
4. Полнотекстовая база данных ScienceDirect – ведущая информационная платформа Elsevier для ученых, преподавателей, студентов
5. Полнотекстовый физический журнал New Journal of Physics (NJP).
URL: <http://www.njp.org/>
6. Электронный ресурс Physics. URL: <http://physics.aps.org/>
7. Библиографическая база данных по проблемам физики высоких энергий.
URL: <http://www.slac.stanford.edu/spires/>
8. Wiley Journal Database, Wiley Online Library. Журналы издательства Wiley
9. American Institute of Physics Publishing – одно из ведущих издательств в области физики
10. Полнотекстовые электронные журналы Американского химического общества (American Chemical Society (ACS))
11. Электронная библиотека IEEEEXPLORE Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
12. Журналы American Physical Society (Американского физического общества)
13. Журналы Royal Society of Chemistry (Королевского химического общества)
14. MathSciNET - реферативная база данных American Mathematical Society (Американского математического общества)
15. Патентная база компании QUESTEL
16. Журналы издательства AAAS (American Association for the Advancement of Science)

17. Журналы издательства SAGE Publication
Журналы издательства Cambridge University Press
18. База данных Annual Reviews Science Collection
19. База данных INSPEC на платформе компании EBSCO Publishing
20. База данных Association for Computing Machinery (ACM)
21. Научные базы данных компании EBSCO Publishing: Business Source Complete и Academic Search Complete, Информационно-поисковая система EBSCO Discovery Service, IEEE All-Society Periodicals Package

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием

Лекции читаются в аудитории, оснащённой мультимедийным проектором. Для самостоятельной работы используются аудитории, оснащённые персональными компьютерами по числу обучающихся с подключением к сети Интернет.