

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НР


Ахметова И.Г.
«28» октября 2020 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.03 Теплофизика и теоретическая теплотехника

для аспирантов, обучающихся по направлению

06.03.01 Физика и астрономия

Направленность «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Форма обучения

Очная, заочная

г. Казань

2020

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является формирование знаний и умений по основам теплофизических свойств веществ, применение теории теплофизических свойств веществ к расчету разнообразных объектов – от чистого однофазного вещества до химически реагирующих многокомпонентных и многофазных систем.

В задачи дисциплины входит:

- освоение знаний о процессах переноса энергии, массы и импульса в газе, жидкости и твердом теле;
- получение знаний о теплофизических свойствах веществ, межмолекулярных взаимодействиях, строении и динамике молекул;
- проведение физического и численного эксперимента;
- получение новых данных о количественных характеристиках тепловых процессов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина относится к общенаучному циклу дисциплин при подготовке кадров высшей квалификации по направлению 06.03.01 Физика и астрономия, направленность «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Дисциплина «Теплофизика и теоретическая теплотехника» базируется на следующих дисциплинах: «Физика», «Химия», «Математика» и «Техническая термодинамика» и «Тепломассообмен». Обучающиеся должны: знать физические основы молекулярной физики и квантовой химии, уметь использовать физико-математический аппарат, применять методы математического анализа.

Знания, полученные по освоению дисциплины «Теплофизика и теоретическая теплотехника», необходимы при выполнении диссертационной работы.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения учебной дисциплины обучающиеся должны демонстрировать следующие результаты образования:

– способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

- способность критически анализировать современные проблемы теплофизики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты (ПК-1);

- способность самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для оптимизации параметров объектов и процессов (ПК-2);

- готовность осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов (ПК-3);

Данные компетенции формируются на основе следующих знаний и умений:

Аспирант изучающий дисциплину «Теплофизика и теоретическая теплотехника» должен **знать:**

- основные дифференциальные уравнения, описывающие поведение простых и сложных веществ, при взаимодействии с внешней средой (ОПК –1), (ПК-1), (ПК-2);
- основные принципы статистической физики (ОПК –1), (ПК-1), (ПК-2), (ПК-3);
- уравнения состояния реальных веществ (ПК-1), (ПК-2);
- тепловые эффекты и общие условия равновесия в химически реагирующих системах (ПК-1), (ПК-2); (ПК-3);
- условия равновесия поверхностного слоя с объемными фазами (ОПК –1), (ПК-1), (ПК-2);
- уравнения процессов переноса в газах и жидкостях (ОПК –1), (ПК-1), (ПК-2);

понимать:

- различие, термодинамического (феноменологического) метода и метода статистической термодинамики при описании физических явлений (ОПК –1), (ПК-1), (ПК-2), (ПК-3);
- связь молекулярных сумм по состояниям с термодинамическими функциями (ОПК –1), (ПК-1), (ПК-2);

уметь:

- объяснить свойства рабочих тел в околоскритической области (ОПК –1), (ПК-1), (ПК-2);
- из термического уравнения состояния идеального газа вывести зависимость энтропии, энтальпии, изобарной и изохорной теплоемкости от T и P (ОПК –1), (ПК-1), (ПК-2);
- вывести формулы для расчета вкладов в термодинамические функции идеального газа от внутренних степеней свободы молекул (ОПК –1), (ПК-1), (ПК-2);
- объяснить, как рассчитать состав химических реагирующей смеси идеальных газов (ОПК –1), (ПК-1), (ПК-2);
- использовать дифференциальные уравнения термодинамики (ОПК –1), (ПК-1), (ПК-2);

владеть:

- навыками освоения информации (ОПК –1), (ПК-1), (ПК-2), (ПК-3);
- навыками самостоятельной работы в лаборатории (ОПК –1), ((ПК-2), (ПК-3);
- постановкой и моделированием физических задач (ОПК –1), (ПК-1), (ПК-2), (ПК-3);
- умением обработки результатов экспериментов и сопоставления с теоретическими и литературными данными (ОПК –1), (ПК-1), (ПК-2), (ПК-3);
- навыками выполнения оценок термодинамических свойств вещества при высоких температурах (ОПК –1), (ПК-2),(ПК-3).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы.

для аспирантов очной формы обучения

Вид учебной работе	Всего часов	из них, проводимых в интерактивной форме	семестры			
			4			
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	108	24	108			
АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ:	32	20	32			
Лекции (Лк)	18	8	18			
Практические (семинарские) занятия (ПЗ)	18	12	18			
Лабораторные работы (ЛР)						
и(или) другие виды аудиторных занятий						
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА:	72		72			
Курсовой проект (работа)						
Расчетно-графические работы						
Реферат						
и (или) другие виды самостоятельной работы	36		36			
ВИД ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ (З – зачет, Э – экзамен)	Э (36)		Э (36)			

для аспирантов заочной формы обучения

Вид учебной работе	Всего часов	семестры			
		9	10		
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	108	36	72		
АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ:	16	11			
Лекции (Лк)	6	6			
Практические (семинарские) занятия (ПЗ)	10	5	5		
Лабораторные работы (ЛР)					
и(или) другие виды аудиторных занятий					
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА:	79	21	58		
Курсовой проект (работа)					
Расчетно-графические работы					
Реферат					
и (или) другие виды самостоятельной работы	13	4	9		
ВИД ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ (З – зачет, Э – экзамен)	3, Э	3	Э		

4.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Всего часов на раздел	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Лк	ПЗ	ЛР	Самост. работа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Термодинамический (феноменологический) метод описания физических явлений в природе	8	1		2	2	-	4	Тест, зачет по практической работе
2	Фазовые равновесия в смесях (растворах)	8	1		2	2	-	4	тест, доклад, зачет по практической работе
3	Метод статистической термодинамики	9	1		2	2	-	5	Тест, зачет по практической работе
4	Приложение дифференциальных уравнений термодинамики к расчету свойств идеальных газов и растворов	7	1		2		-	5	Тест, зачет по практической работе
5	Термодинамика химически реагирующих систем	11	1		2	4	-	5	Тест, зачет по практической работе
6	Уравнения состояния реальных газов, жидкостей и твердых тел. Статистическая термодинамика реальных газов	9	1		2	2	-	5	тест, доклад, зачет по практической работе
7	Поверхностные явления в чистых веществах и растворах	12	1		2	2	-	8	тест, доклад, зачет по практической работе
8	Процессы переноса в разреженных и плотных газах и в жидкостях	4	1		2	2			тест, доклад, зачет по практической работе
9	Введение в неравновесную термодинамику	4	1		2	2			
10	Промежуточная аттестация	36	-	-	-	-	-	36	Экзамен
	Итого:	108			18	18		72	

4.3. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел 1

Термодинамический (феноменологический) метод описания физических явлений в природе. Введение. Термодинамические потенциалы. Канонические уравнения состояния вещества. Термодинамические функции для систем с переменной массой и находящихся во внешнем силовом поле. Уравнение Гиббса – Гельмгольца. Соотношение Максвелла. Общие условия термодинамической устойчивости.

Раздел 2

Фазовые равновесия в смесях (растворах). Химический потенциал. Условия равновесия фаз. Фазовые переходы первого и второго рода. Фазовая диаграмма гелия. Сверхпроводимость. Уравнения Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые диаграммы. Критическое состояние. Различные случаи фазового равновесия. Методы расчета состава и термодинамических свойств гетерогенных многокомпонентных систем. Правило фаз Гиббса.

Раздел 3

Метод статистической термодинамики. Основные положения статистической термодинамики. Статистический вес макросостояния (термодинамическая вероятность). Энтропия и статистический вес. Закон распределения Гиббса. Статистическая сумма и ее связь с термодинамическими функциями. Квантовая теория теплоемкости. Расчет энтропии методом статистической термодинамики.

Раздел 4

Приложение дифференциальных уравнений термодинамики к расчету свойств идеальных газов и растворов. Термодинамика диэлектриков. Термодинамика излучения. Термодинамика воды. Статистический расчет термодинамических функций идеальных и реальных газов.

Раздел 5

Термодинамика химически реагирующих систем. Тепловые эффекты химических реакций. Химическое равновесие в однородной системе. Закон действия масс. Стандартный изобарный потенциал реакций. Влияние давления и температуры на равновесие химической реакции. Гетерогенное химическое равновесие. Расчет констант равновесия статистическим методом. Кинетика реакций. Скорость химических реакций.

Раздел 6

Уравнения состояния реальных газов, жидкостей и твердых тел. Статистическая термодинамика реальных газов. Вычисление термодинамических функций реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Уравнение состояния газа в вириальной форме. Статистическая теория плазмы.

Раздел 7

Поверхностные явления в чистых веществах и растворах. Поверхностное натяжение и поверхностное давление. Термодинамика поверхностного натяжения.

Общие условия равновесия поверхностного слоя с объемными фазами. Адсорбционная формула Гиббса. Поверхностно-активные и инактивные вещества.

Статистическое описание адсорбции. Идеальный адсорционный слой. Методы расчета энергии различных межмолекулярных взаимодействий.

Раздел 8

Процессы переноса в разреженных и плотных газах и в жидкостях. Первый закон Фика, коэффициент диффузии. Поток тепла и удельная теплопроводность. Уравнение диффузии и теплопроводности. Закон Эйнштейна-Смолуховского.

Раздел 9

Введение в неравновесную термодинамику. Исходные положения неравновесной термодинамики. Локальное равновесие и основное уравнение термодинамики неравновесных процессов. Уравнения баланса, массы, импульса, энергии, энтропии.

4.4. Практические (семинарские) занятия

№ п/п	Тема практических (семинарских) занятий	Семестр	Номер раздела лекционного курса	Продолжительность (часов)
1	2	3	4	5
1	Термодинамические потенциалы. Соотношение Максвелла.	1	1	2
2	Фазовое равновесие и тепловые эффекты при фазовых переходах	1	2	2
3	Сумма по состояниям и ее связь с термодинамическими функциями идеальных и реальных газов	1	3,6	4
4	Термодинамика химических процессов	1	5	4
5	Поверхностные явления. Адсорбция	1	7	2
6	Явления переноса	1	8	2
	Итого:	–	–	16

4.5. Лабораторные занятия

Лабораторные занятия учебным планом не предусмотрены

4.6. Разделы дисциплины и связь с формируемыми компетенциями

№ п/п	Раздел дисциплины, участвующий в формировании компетенций	Часов на раздел	компетенции								Количество компетенций
			ОПК -1	ПК-1	ПК-2	ПК-3					
1	Термодинамический (феноменологический) метод описания физических явлений в природе	8	З,У	З,У,В	З,У	З,					4
2	Фазовые равновесия в смесях (растворах)	8	У	У,В	У						3
3	Метод статистической термодинамики	9	З,У	З,У,В	З,У	З,					4
4	Приложение дифференциальных уравнений термодинамики к расчету свойств идеальных газов и растворов	7	У	З,У,В	З,У						3
5	Термодинамика химически реагирующих систем	11	У	З,У,В	З,У	З,					4
6	Уравнения состояния реальных газов, жидкостей и твердых тел. Статистическая термодинамика реальных газов	9	З,У	З,У,В	З,У						3
7	Поверхностные явления в чистых веществах и растворах	12	З	З,В	З,						3
8	Процессы переноса в разреженных и плотных газах и в жидкостях	4	З	З,В	З						3
9	Введение в неравновесную термодинамику	4		З,В							1
	Итого:	108									

Условные обозначения: З – знать, У – уметь, В – владеть.

4.7. Образовательные технологии

№ п/п	Раздел дисциплины	Компетенции	Образовательные технологии	Оценочные средства
1	2	3	4	5
1	Термодинамический (феноменологический) метод описания физических явлений в природе.	ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, зачет по практической работе
2	Фазовые равновесия в смесях (растворах).	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, доклад, зачет по практической работе
3	Метод статистической термодинамики	ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, зачет по практической работе
4	Приложение дифференциальных уравнений термодинамики к расчету свойств идеальных газов и растворов	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, доклад, зачет по практической работе
5	Термодинамика химически реагирующих систем.	ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, зачет по практической работе
6	Уравнения состояния реальных газов, жидкостей и твердых тел. Статистическая термодинамика реальных газов	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, зачет по практической работе
7	Поверхностные явления в чистых веществах и растворах	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, доклад, зачет по практической работе
8	Процессы переноса в разреженных и плотных газах и в жидкостях	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, доклад, зачет по практической работе
9	Введение в неравновесную термодинамику	ПК-1	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, доклад, зачет по практической работе

5. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

5.1. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

Для текущей оценки качества освоения дисциплины разработаны и используются следующие средства:

- фонд тестовых заданий;
- задачи для разных уровней;
- темы докладов

5.2. Оценочные средства для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины разработаны и используются следующие средства:

- вопросы для подготовки.

Оценочные средства представлены в документе «Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины Б1.В.ОД.4 Теплофизика и теоретическая теплотехника при реализации основных профессиональных образовательных программ высшего образования - программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки кадров высшей квалификации 03.06.01 Физика и астрономия.

5.3. Организация самостоятельной работы аспирантов

№ п/п	Тема самостоятельной работы	Семестр	Номер раздела лекционного курса	Продолжительность (часов)
1	2	3	4	5
1	Фазовая диаграмма гелия. Сверхпроводимость	1	1,2	8
2	Расчет энтропии методом статистической термодинамики	1	3,6	10
3	Термодинамика диэлектриков. Термодинамика излучения. Термодинамика воды	1	4	5
4	Кинетика реакций. Скорость химической реакции	1	5	5
5	Статистическое описание адсорбции. Идеальный адсорбционный слой. Методы расчета энергии различных межмолекулярных взаимодействий	1	7	8
6	Промежуточная аттестация	1	1-7	36
	Итого	-		72

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. основная литература:

1. Кириченко Н.А. Термодинамика, статистическая и молекулярная физика. М.: Физматкнига. 2005. 176 с.
2. Ягодовский В.Д. Статистическая термодинамика в физической химии. М.: Бинوم. Лаборатория знаний. 2005. 495 с.
3. Сивухин Д.В. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Физматлит МФТИ. 2006. Т 2. 544 с.
4. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – 5-е изд.–М.:МЭИ, 2008, 496 с.

6.2. дополнительная литература:

5. Еремин В.В. Каргов С.И., Успенская И.А., Кузменко Н.Е., Лунин В.В. Задачи по физической химии. М.: «Экзамен». 2005. 319 с.
6. Сборник задач по технической термодинамике. / Т.Н. Андрианова, Б.В. Дзампов, В.Н. Зубарев, С.А. Ремизов, Н.Я. Филатов.–4-е изд., переработанное и дополненное–М.: Изд. МЭИ, 2000. 356 с.

6.3. Электронно-библиотечные системы

1. iprbookshop.ru.
2. knigafund.ru.
3. ibooks.ru.
4. znanium.com.
5. e.lanbook.com.
6. library.bsu.ru/menu-electronic.

6.4. Программное обеспечение дисциплины

Пакеты прикладных программ для расчета параметров интерфейсов Multisim, MatLab, LabVIEW и Trace Mode.

6.5. Интернет-ресурсы

1. [http:// otherreferats.allbest.ru](http://otherreferats.allbest.ru).
2. www.kgeu.ru. 3. www.mirknig.com

6.6. Профессиональные базы данных

№ п/п	Наименование профессиональных баз данных	Адрес	Режим доступа
1.	Российская национальная библиотека	http://nlr.ru/	Свободный
2.	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	http://window.edu.ru/	Свободный
3.	Президентская библиотека имени Бориса Николаевича Ельцина	В http://prlib.ru	Свободный
4.	Научная электронная библиотека	http://elibrary.ru	Свободный

	eLIBRARY.RU		
5.	Высшая аттестационная комиссия при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации	https://scienceid.net/president/	Свободный
6.	Президент России — молодым ученым - Science-ID	https://scienceid.net/president/	Свободный
7.	МБД Scopus	https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic	Свободный с компьютеров университета
8.	МБД Web of Science	https://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=D6cTknVCLV7j48sfzSo&preferencesSaved=	Свободный с компьютеров университета
9.	Портал РФФИ	https://www.rfbr.ru/rffi/ru/	Свободный

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины


№ п./п.	Вид учебной работы	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Лекции	Специальные помещения для проведения занятий лекционного типа	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения: мультимедийный проектор, мобильный ПК (ноутбук), экран
2	Практические занятия	Специальные помещения для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения: мультимедийный проектор, мобильный ПК (ноутбук)
		Компьютерный класс с выходом в Интернет	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения: ПК, лицензионное программное обеспечение
4	Самостоятельная работа обучающихся	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
		Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника

№ п./п.	Вид учебной работы	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
			с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, мультимедийный проектор, экран, программное обеспечение

Для преподавания дисциплины необходим дисплейный класс с современным компьютерным оборудованием (для показа демонстрационных программ, самостоятельной работы, демонстрации материалов к лекциям), доступ в Интернет. Адрес сайта: www.kgeu.ru

* * *

Фонд оценочных средств разработан в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки аспирантов «03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденным приказом Министерством образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 867.

Автор  д-р техн. н., проф. К.Х. Гильфанов

Фонд оценочных средств обсужден и одобрен на заседании кафедры АТПП от № 24 от 26.10.2020.

Заведующий кафедрой: В.В. Плотников 

Фонд оценочных средств одобрен на заседании методического совета института Теплоэнергетики, протокол № 07/20 от 27.10.2020

Зам. директора института  С.М. Власов

Фонд оценочных средств принят решением Ученого совета института Теплоэнергетики, протокол № 07/20 от 27.10.2020

