

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



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по ИР

  
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			
<b>ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	108	24	108			
<b>АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ:</b>	32	20	32			
Лекции (Лк)	18	8	18			
Практические (семинарские) занятия (ПЗ)	18	12	18			
Лабораторные работы (ЛР)						
и(или) другие виды аудиторных занятий						
<b>САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА:</b>	72		72			
Курсовой проект (работа)						
Расчетно-графические работы						
Реферат						
и (или) другие виды самостоятельной работы	36		36			
<b>ВИД ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ</b> (З – зачет, Э – экзамен)	Э (36)		Э (36)			

для аспирантов заочной формы обучения

Вид учебной работе	Всего часов	семестры			
		9	10		
<b>ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	108	36	72		
<b>АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ:</b>	16	11			
Лекции (Лк)	6	6			
Практические (семинарские) занятия (ПЗ)	10	5	5		
Лабораторные работы (ЛР)					
и(или) другие виды аудиторных занятий					
<b>САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА:</b>	79	21	58		
Курсовой проект (работа)					
Расчетно-графические работы					
Реферат					
и (или) другие виды самостоятельной работы	13	4	9		
<b>ВИД ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ</b> (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	<i>Продолжительность</i> (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								<i>Количество компетенций</i>
			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 дифференциаль- ных уравнений термодина- мики к расчету свойств иде- альных 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. Ягодский 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](http://iprbookshop.ru).
2. [knigafund.ru](http://knigafund.ru).
3. [ibooks.ru](http://ibooks.ru).
4. [znanium.com](http://znanium.com).
5. [e.lanbook.com](http://e.lanbook.com).
6. [library.bsu.ru/menu-electronic](http://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](http://www.kgeu.ru). 3. [www.mirknig.com](http://www.mirknig.com)

### 6.6. Профессиональные базы данных

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

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

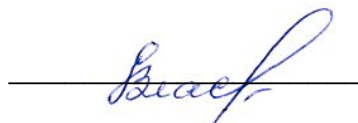
Фонд оценочных средств обсужден и одобрен на заседании кафедры АТПП от № 24 от 26.10.2020.

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



