



КГЭУ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УМР

В.А. Дыганов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### **М.1.В.5 «ТЕОРИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ»**

(указывается индекс и наименование дисциплины согласно учебному плану в соответствии с ФГОС ВПО)

Направление подготовки

**223200.68 «Техническая физика»**

(указывается код и наименование)

Профиль подготовки

**«Теплофизика»**

Квалификация (степень) выпускника

**магистр**

Форма обучения

**очная**

(очная, очно-заочная, заочная)

г. Казань

2011

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

Дисциплина относится к общенаучному циклу дисциплин при подготовке магистров по направлению 223200.68 "Техническая физика" специализированной подготовки магистра по программе «Теплофизика» является развитием и продолжением дисциплины "Основы термодинамики и тепломассообмена".

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 динамики молекул;
- проведение физического и численного эксперимента;
- получение новых данных о количественных характеристиках тепловых процессов.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО**

Дисциплина относится к общенаучному циклу дисциплин при подготовке магистров по направлению 223200.68 "Техническая физика" специализированной подготовки магистра по программе «Теплофизика».

Дисциплина «Теория теплофизических свойств веществ» базируется на следующих дисциплинах: «Физика», «Химия», «Математика» и «Термодинамика». Обучающиеся должны: знать физические основы молекулярной физики и квантовой химии, использовать физико-математический аппарат, применять методы математического анализа.

Знания, полученные по освоению дисциплины «Теория теплофизических свойств веществ», необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

## **3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

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

- способность к профессиональной эксплуатации современного научного и технологического оборудования и приборов (в соответствии с целями ООП магистратуры) (ПК-1);

- способность демонстрировать и использовать углубленные теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе и те, которые находятся на передовом рубеже технической физики (ПК-2);

- способность осуществлять научный поиск и разработку новых перспективных подходов и методов к решению профессиональных задач, готовность к профессиональному росту, к активному участию в научной и инновационной деятельности, конференциях, выставках и презентациях (ПК-5);

- готовность осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов (ПК-8);

способность представлять результаты исследования в формах отчетов, рефератов, публикаций и презентаций (ПК-9);

- готовность принимать непосредственное участие в учебной и учебно-методической работе кафедр и других учебных подразделений по профилю направления, участвовать в разработке программ учебных дисциплин и курсов (ПК-18);

- способность проводить учебные занятия, лабораторные работы, обеспечивать практическую и научно - исследовательскую работу обучающихся (ПК-19);

**Данные компетенции формируются на основе следующих знаний и умений:**

Студент изучающий дисциплину «Теория теплофизических свойств веществ» должен **знать:**

- основные положения теории теплофизических свойств веществ;
- основные дифференциальные уравнения, описывающие поведение простых и сложных веществ, при взаимодействии с внешней средой;
- основные принципы статистической физики;
- уравнения состояния реальных веществ;
- тепловые эффекты и общие условия равновесия в химически реагирующих системах.
- условия равновесия поверхностного слоя с объемными фазами;
- уравнения процессов переноса в газах и жидкостях;

**понимать:**

- различие, термодинамического (феноменологического) метода и метода статистической термодинамики при описании физических явлений.
- связь молекулярных сумм по состояниям с термодинамическими функциями.

**уметь:**

- объяснить свойства рабочих тел в околоскритической области;

- из термического уравнения состояния идеального газа вывести зависимость энтропии, энтальпии, изобарной и изохорной теплоемкости от  $T$  и  $P$ .
- вывести формулы для расчета вкладов в термодинамические функции идеального газа от внутренних степеней свободы молекул.
- объяснить, как рассчитать состав химических реагирующей смеси идеальных газов.
- использовать дифференциальные уравнения термодинамики;

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы.

Вид учебной работе	Всего часов	из них, проводимых в интерактивной форме	семестры			
			1			
<b>ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	108	24	108			
<b>АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ:</b>	48	24	48			
Лекции (Лк)	16	8	16			
Практические (семинарские) занятия (ПЗ)	32	16	32			
Лабораторные работы (ЛР)						
и(или) другие виды аудиторных занятий						
<b>САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА:</b>	60		60			
Курсовой проект (работа)						
Расчетно-графические работы						
Реферат						
и (или) другие виды самостоятельной работы	24		24			
<b>ВИД ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ</b> (З – зачет, Э – экзамен)	36		36			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. Термодинамические потенциалы	8	1		2	4	-	2	тест
2	Фазовые равновесия в смесях (растворах). Химический потенциал	8	1		2	4	-	2	тест, доклад
3	Метод статистической термодинамики	22	1		4	8	-	10	тест
4	Термодинамика химически реагирующих систем.	15	1		2	8	-	5	тест
5	Уравнения состояния	8	1		2	4	-	2	тест

	реальных газов, жидкостей и твердых тел. Статистическая термодинамика реальных газов								
6	Поверхностные явления в чистых веществах и растворах	7	1		2	2	-	3	тест, доклад
7	Процессы переноса в разреженных и плотных газах и в жидкостях	4	1		2	2	-	-	тест, доклад
8	Экзамен	36	-	-	-	-	-	36	Письменный опрос с учетом результатов текущего контроля
	Итого:	108			16	32		60	

### 4.3. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Раздел 1

Введение. Термодинамический метод описания физических явлений. 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 микросостояния (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.

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 4

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 5

Уравнение 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 6

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

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

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

#### Раздел 7

Процессы переноса в разреженных газах, в плотных газах и в жидкостях.

Первый закон Фика, коэффициент диффузии. Поток тепла и удельная теплопроводность. Уравнение диффузии и теплопроводности. Закон Эйнштейна-Смолуховского.

#### 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	4
2	Фазовое равновесие и тепловые эффекты при фазовых переходах	1	2	6
3	Сумма по состояниям и ее связь с термодинамическими функциями идеальных и реальных газов	1	3,5	8
4	Термодинамика химических процессов	1	4	6
5	Поверхностные явления. Адсорбция	1	6	4
6	Явления переноса	1	7	4
	Итого:	–	–	32

#### 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
			ПК-1	ПК-2	ПК-5	ПК-8	ПК-9	ПК-18	ПК-19		
1	Термодинамический (феноменологический) метод описания физических явлений в природе. Термодинамические потенциалы	8							В		1
2	Фазовые равновесия в смесях (растворах). Химический потенциал	8					У		В	У	3
3	Метод статистической термодинамики	22		З	З, У					У	3
4	Термодинамика химически реагирующих систем.	15	З		З, У	З	У		В		5
5	Уравнения состояния реальных газов, жидкостей и твердых тел. Статистическая термодинамика реальных газов	8	З	З		З			В	У	5
6	Поверхностные явления в чистых веществах и растворах	7			З, У					У	2
7	Процессы переноса в разреженных и плотных газах и в жидкостях	4				З			В		2
Итого:		108									

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

## 5. Образовательные технологии

**Лекционные занятия** проводятся с использованием презентаций и демонстрационного материала на мультимедийной аппаратуре.

**Практические занятия** проводятся в формах обсуждения разбираемого материала и решения задач на расчёт соответствующих теплофизических процессов.

**Семинарские занятия** проводятся в форме докладов, подготовленных студентами, с обсуждением материала и разбором примеров соответствующих теплофизических процессов.

**Самостоятельная работа** включает решение заданных задач, подготовку к тестам, очередным докладам на семинарах, подготовку к занятиям и обзор пройденного материала по контрольным вопросам.

№ п/п	Раздел дисциплины	Компетенции	Образовательные технологии	Оценочные средства
1	2	3	4	5
1	Термодинамический (феноменологический) метод описания физических явлений в природе. Термодинамические потенциалы	ПК-18	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, зачет по практической работе
2	Фазовые равновесия в смесях (растворах). Химический потенциал	ПК-9, ПК-18, ПК-19	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, зачет по практической работе
3	Метод статистической термодинамики	ПК-2, ПК-5, ПК-19	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, зачет по практической работе
4	Термодинамика химически реагирующих систем.	ПК-1, ПК-5, ПК-8, ПК-9, ПК-18	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, зачет по практической работе
5	Уравнения состояния реальных газов, жидкостей и твердых тел. Статистическая термодинамика реальных газов	ПК-1, ПК-2, ПК-8, ПК-18, ПК-19	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, зачет по практической работе
6	Поверхностные явления в чистых веществах и растворах	ПК-5, ПК-19	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, зачет по практической работе
7	Процессы переноса в разреженных и плотных газах и в жидкостях	ПК-8, ПК-18	Лекции с использованием компьютерных визуальных средств	Тест, зачет по практической работе

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

Для текущего контроля успеваемости используются различные виды тестов, устный опрос, презентация доклада.

Аттестация по дисциплине – экзамен.

**6.1. Тематика рефератов, расчетно-графических работ, курсовых проектов (работ)**

Учебным планом не предусмотрено.

**6.2. Примеры тестов и контрольных вопросов для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации**

Уравнение состояния Боголюбова – Майера для реального газа

$$- pv = RT;$$

$$- \left( p + \frac{a}{v^2} \right) (v - \epsilon) = RT;$$

$$- pv = RT \cdot \left( 1 + \frac{B(T)}{v} + \frac{C(T)}{v^2} + \dots \right);$$

$$- p \cdot e^{\frac{a}{vRT}} (v - \epsilon) = RT.$$

**6.3. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

№ 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	4
2	Расчет энтропии методом статистической термодинамики	1	3	5
3	Термодинамика диэлектриков. Термодинамика излучения. Термодинамика воды	1	3	5
4	Кинетика реакций. Скорость химической реакции	1	4	5
5	Статистическое описание адсорбции. Идеальный адсорбционный слой. Методы расчета энергии различных межмолекулярных взаимодействий	1	5,6	5
	Итого	-		24

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) основная литература:**

7.1. Кириченко Н.А. Термодинамика, статистическая и молекулярная физика. М.: Физматкнига. 2005. 176 с.

7.2. Ягодковский В.Д. Статистическая термодинамика в физической химии. М.: Бином. Лаборатория знаний. 2005. 495 с.

7.3. Сивухин Д.В. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Физматлит МФТИ. 2006. Т 2. 544 с.

7.4. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. –5-е изд.–М.:МЭИ, 2008, 496 с.

7.5. Еремин В.В. Каргов С.И., Успенская И.А., Кузменко Н.Е., Лунин В.В. Задачи по физической химии. М.: «Экзамен». 2005. 319 с.

7.6. 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.

### **б) дополнительная литература:**

7.7. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. Новосибирск: Изд. Новосибирского университета. 2001. 608 с.

7.8. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. М.: «Мир». 2002. 462 с.

7.9. Леонтович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика. М.: "Наука" 1983. 416 с.

7.10. Базаров И.П.. Термодинамика. М.: "Высшая школа" 1976. 448 с.

7.11. Release on the IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of the Ordinary Water Substance for General and Scientific Use. International Association for the Properties of Water and Steam. Executive Secretary R.B. Dooley. Electric Power Research Institute. Palo Alto, CA 94304,USA, 1996.

7.12. Александров А.А. Международное уравнение состояния воды и водяного пара // Теплоэнергетика. – 1997.– № 10.– С. 68–72.

7.13. Лавенда Б. Статистическая физика. Вероятный подход. М.: Мир. 1999. 432 с.

7.14. Базаров И.П., Геворкян Э.В., Николаев П.Н. Термодинамика и статистическая физика. М.: Изд-во МГУ. 1986. 312 с.

7.15. Шиллинг Г. Статистическая физика в примерах. М., "Мир", 1978, 432 с.

7.16. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия. М.: «Высшая школа» 1973. 479 с.

7.17. Стал Д. Вестрем Э., Зинке Г. Химическая термодинамика органических соединений. М.: «Мир». 1971. 807 с.

7.18. Шпильрайн Э.Э., Кессельман П.М. Основы теории теплофизических свойств веществ. М.: Энергия, 1977. 248 с.

7.19. Московский С.Б. Курс статистической физики и термодинамики. М.: Академический Проект, 2005. 316 с.

7.20. Мухачев Г.А., Щукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 1991.

7.21. Краснов К.С., Воробьев Н.К., Годнев И.Н., Васильева В.Н. и др. Физическая химия. М.: «Высшая школа». 2001. 512 с.

7.22. Курс физической химии. М.: Химия. 1970. Т.1. 592 с.

периодические издания (журналы)

Журнал физической химии. Из-во «Наука». РАН.

Журнал теплофизика высоких температур

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материал к практическим занятиям в электронной форме.

Слайд-проектор, компьютерный проектор в комплекте с ноутбуком и экраном с соответствующим демонстрационным материалом.

\* \* \*

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и с учетом рекомендаций ПрООП ВПО по направлению подготовки 223200.68 «Техническая физика» и программы подготовки «Теплофизика».

Автор : \_\_\_\_\_  
подпись

\_\_\_\_\_ д.х.н., проф. Халитов Ф.Г.  
ученая степень (звание), расшифровка подписи

Рецензент \_\_\_\_\_  
подпись

\_\_\_\_\_ д.ф.-м.н., проф. Якимов Н.Д.  
ученая степень (звание), расшифровка подписи

Программа обсуждена и одобрена на заседании методического совета кафедры

\_\_\_\_\_ ТОТ \_\_\_\_\_ от 23 сентября 2011 г., протокол № 25 .  
название кафедры

Заведующий кафедрой ТОТ

\_\_\_\_\_  
подпись

\_\_\_\_\_ проф. Халитов Ф.Г.  
ученая степень (звание), расшифровка подписи

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Директор ИТЭ

\_\_\_\_\_  
подпись

\_\_\_\_\_ проф. Чичирова Н.Д.  
ученая степень (звание), расшифровка подписи

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Согласовано:

Зав. выпускающей кафедрой ТОТ

\_\_\_\_\_ проф. Халитов Ф.Г.