

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.ДВ.02.02.06 ТЕПЛОФИЗИКА

Теория теплофизических свойств веществ

наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом

Направление подготовки / специальность

03.03.02 Физика

Направленность (профиль)

03.03.02.33 Фундаментальная и прикладная физика

Форма обучения

очная

Год набора

2023

Красноярск 2023

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили _____

д-р физ.-мат. наук, профессор, Флёров Игорь Николаевич

должность, инициалы, фамилия

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины

Цель дисциплины – создать у студентов ясное представление о термодинамических системах и тепловых явлениях в них протекающих, а также о теплофизических свойствах различных систем – как чистых веществ, так и смесей, в широком диапазоне температур и давлений, и закономерностях протекания процессов переноса в этих системах; ознакомить их с физическими механизмами, лежащими в основе различных аспектов теплового поведения веществ.

1.2 Задачи изучения дисциплины

Задача изучения дисциплины – научить студентов выполнять расчеты теплофизических свойств веществ на основе термодинамики и статистической физики, используя данные о макроскопическом поведении и микроскопической структуре вещества.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ПК-2: Способен к выполнению физических экспериментов и (или) теоретических исследований по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов	
ПК-2.1: Выбирает методы проведения физических экспериментов и (или) теоретических исследований, обобщения и обработки информации	Знать: основные законы, принципы, диаграммы состояния и соотношения, связывающие термодинамические свойства, и закономерности изменения этих свойств в зависимости от процессов, включая фазовые превращения. Знать основные понятия процессов теплопроводности, конвективной теплоотдачи, теплообмена излучением, массообмена. знать: физические основы исследуемых процессов Уметь: рассчитывать эти свойства на качественном и количественном уровнях, используя математический аппарат, включающий дифференциальные уравнения термодинамики. уметь: самостоятельно составлять план научного исследования уметь: разрабатывать модели изучаемых объектов Иметь навыки: экспериментального измерения и исследования теплофизических параметров и свойств материалов, в частности, в экстремальных условиях, определяемых наличием фазовых превращений. владеть: навыками обработки данных владеть: навыками настройки параметров оборудования

ПК-2.2: Оформляет результаты научно-	<p>знать: физические основы исследуемых процессов</p> <p>знать: способы моделирования изучаемых моделей</p>
исследовательских и (или) опытно-конструкторских работ	<p>знать: области применения изучаемых моделей</p> <p>уметь: самостоятельно составлять план научного исследования</p> <p>уметь: разрабатывать модели изучаемых объектов</p> <p>уметь: определять области применимости модели изучаемого объекта</p> <p>владеть: навыками физического моделирования</p> <p>владеть: навыками оформления научно-исследовательских работ</p> <p>владеть: навыками обработки научных результатов</p>
ПК-2.3: Составляет отчеты (разделы отчетов) по теме или по результатам проведенных экспериментов	<p>знать: физические основы исследуемых процессов</p> <p>знать: способы моделирования изучаемых моделей</p> <p>знать: области применения изучаемых моделей</p> <p>уметь: самостоятельно составлять план научного исследования</p> <p>уметь: разрабатывать модели изучаемых объектов</p> <p>уметь: определять области применимости модели изучаемого объекта</p> <p>владеть: навыками физического моделирования</p> <p>владеть: навыками оформления научно-исследовательских работ</p> <p>владеть: навыками обработки научных результатов</p>

1.4 Особенности реализации дисциплины

Язык реализации дисциплины: Русский.

Дисциплина (модуль) реализуется без применения ЭО и ДОТ.

2. Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад. час)	е
		1
Контактная работа с преподавателем:	2 (72)	
занятия лекционного типа	1 (36)	
практические занятия	1 (36)	
Самостоятельная работа обучающихся:	1 (36)	
курсовое проектирование (КП)	Нет	
курсовая работа (КР)	Нет	

3 Содержание дисциплины (модуля)

3.1 Разделы дисциплины и виды занятий (тематический план занятий)

№ п/п		Модули, темы (разделы) дисциплины		Контактная работа, ак. час.							
				Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа				Самостоятельная работа, ак. час.	
						Семинары и/или Практические занятия		Лабораторные работы и/или Практикумы			
Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС				
1. Модуль 1. Термодинамический подход к исследованию											
2. Тема 1. Теплофизические свойства и термодинамический метод исследования											

<p>1. Лекция 1. Понятие о термодинамике. Общие и отличительные черты термодинамики и теплофизики. Актуальность теплофизических методов исследования. Термодинамический метод исследования. Разновидности термодинамических систем. Классификация термодинамических свойств. Лекция 2. Возможности термодинамического метода исследования. Первый закон термодинамики и обобщенный вид характеристических функций. Принцип построения дифференциальных уравнений термодинамики. Уравнения Максвелла. Некоторые из основных уравнений термодинамики. Выводы из анализа дифференциальных уравнений термодинамики. Некоторые общие математические зависимости, полезные для рассмотрения взаимосвязей конкретных термодинамических свойств.</p>	4							
<p>2. Взаимосвязь термодинамических свойств. Дифференциальные уравнения термодинамики. Интенсивные и экстенсивные, термические и калорические свойства.</p>			2					
<p>3. Тема 1.</p>						2		
<p>3. Модуль 2. Термодинамические свойства газов, жидкостей и смесей</p>								
<p>4. Тема 2. Равновесие однофазной и много-фазной термодинамических систем</p>								

<p>1. Лекция 3. Стабильные, метастабильные и лабильные термодинамические системы. Признаки равновесного состояния. Общие условия равновесия. Критерии устойчивости равновесия.</p> <p>Лекция 4. Двухфазная система. Химический потенциал. Идентичность химического и удельного изобарно-изотермического потенциалов. Условия равновесия фаз. Кривая фазового равновесия.</p>	4								
2. Лекция 3 Лекция 4								2	
5. Тема 3. Фазовые переходы и фазовые диаграммы									
<p>1. Лекция 5. Классификация фазовых переходов. Фазовые переходы первого рода и критическое состояние. Тройная точка вещества. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста.</p> <p>Лекция 6. Фазовая диаграмма давление – температура. Тройная и критическая точки. Потенциальные фазовые диаграммы. Гистерезис температуры перехода. Бинодаль и спинодаль. Фазовое равновесие твердое тело – пар. Равновесие жидкость – пар. Равновесие твердое тело – жидкость.</p>	4								

<p>2. Фазовые переходы с изменением агрегатного состояния вещества. Определение теплоты плавления, сублимации и парообразования. Теплоемкость на линии насыщения.</p> <p>Влияние давления на температуры фазовых переходов между различными агрегатными состояниями.</p> <p>Критическое состояние вещества.</p> <p>Расчет термодинамических свойств, характеризующих первые производные от изобарно-изотермического потенциала.</p>			8					
3. Тема 3.						10		
6.								
<p>1. Лекция 7. Основные законы идеального газа. Уравнение состояния. Термические свойства. Калорические свойства. Формула Майера. Изоэнтропы идеального газа. Сжимаемость и скорость звука.</p> <p>Лекция 8. Учет неидеальности реального газа. Уравнение состояния Боголюбова-Майера. Термические свойства реального газа: изотермы, изохоры, изобары. Термодинамическая поверхность. Коэффициент сжимаемости.</p> <p>Лекция 9. Энтальпия и кривая инверсии. Изотермы и изобары энтальпии. Энтропия. Теплоемкость при постоянном давлении. Изотермы теплоемкости. Термические идеальные кривые.</p>	6							

<p>2. Фазовые диаграммы идеального газа. Связь давления, температуры и удельного объема. Взаимосвязь термических и калорических свойств идеальных газов: законы Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Шарля. Влияние граничных условий, накладываемых на процесс фазового перехода, на свойства вещества на пограничных кривых. Зависимости параметров фазового перехода от типа процесса. Изменение калорических и термических свойств реальных газов в процессе их расширения. Расчет внутренней энергии газа Ван-дер-Ваальса. Энтропия, изобарная и изохорная теплоемкости. Учет влияния неидеальности на калорические свойства реального газа. Теплоемкость на пограничных кривых. Изолинии термических свойств в двухфазной и однофазной областях вблизи пограничной кривой. Граница раздела жидкой и твердой фаз для аномальных веществ. Соотношение барических коэффициентов в окрестностях тройной точки.</p>			10					
3. Тема 4.						4		
7. Тема 5. Термодинамические свойства чистого вещества на пограничных кривых, в двух-, трехфазных и окологранных								

<p>1. Лекция 10. Свойства первой и второй групп. Выбор независимых параметров. Интенсивные свойства. Неопределенность свойств второй группы. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Производные вдоль пограничных кривых. Анализ диаграмм ; и .</p> <p>Лекция 11. Теплота парообразования и ее изменение вблизи критической точки. Изменение энтальпии на пограничных кривых. Формула Планка. Представление трехфазного состояния вещества. Диаграмма давление – температура. Диаграмма температура – энтропия. Диаграмма внутренняя энергия – удельный объем. Фундаментальный треугольник чистого вещества.</p> <p>Лекция 12. Особенности критического состояния. Гравитационный гидростатический эффект. Предельное состояние двухфазной системы. Зависимость термодинамических свойств от степени близости параметров к критическим значениям.</p>	6							
<p>2. Скрытая теплота фазовых переходов. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Поведение вещества в окрестностях тройной точки.</p> <p>Свойства реального газа в закритической, докритической областях и на линии насыщения. Сравнительный анализ термических свойств реального и идеального газов.</p> <p>Теплоемкость в критической точке. Свойства вещества в критической точке, характеризуемые смешанными производными. Критические параметры газа Ван-дер-Ваальса.</p>			6					
<p>3. Тема 5.</p>							4	
<p>8. Тема 6. Уравнение состояния и термодинамическое подобие</p>								

<p>1. Лекция 13. Виды уравнения состояния. Рациональное уравнение состояния. Возможности уравнения состояния. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Эмпирические уравнения состояния. Уравнения состояния газов, жидкостей, твердых тел.</p> <p>Лекция 14. Термодинамически подобные вещества. Безразмерная система параметров. Опорные точки вещества. Соответственные состояния. Закон соответственных состояний. Корреляция закона соответственных состояний. Вычисление термодинамических свойств веществ.</p>	4							
<p>2. Расчет термических свойств вещества с использованием уравнения состояния идеального газа. Определение границ применимости уравнения состояния идеального газа</p> <p>Расчет термических и калорических свойств вещества с использованием уравнения Ван-дер-Ваальса.</p> <p>Определение критических параметров газов, описываемых эмпирическими уравнениями состояния.</p>			4					
<p>3. Тема 6.</p>						4		
<p>9. Тема 7. Термодинамические свойства многокомпонентных</p>								

<p>1. Лекция 15. Основные характеристики многокомпонентных систем. Лекция 15. Основные характеристики многокомпонентных систем. Закон Дальтона. Закон Амага. Калорические свойства смеси идеальных газов. Особенности изменения энтропии при смешении разнородных идеальных газов.</p> <p>Лекция 16. Особенности процесса смешения реальных газов. Неприменимость законов Дальтона и Амага для смеси реальных газов. Калорические свойства смеси реальных газов. Уравнения состояния газовых смесей. ем. Закон Дальтона. Закон Амага. Калорические свойства смеси идеальных газов. Особенности изменения энтропии при смешении разнородных идеальных газов.</p>	4							
<p>2. Расчет объемных долей и парциальных давлений компонентов газовой смеси. Кажущаяся молекулярная масса смеси и газовые постоянные компонентов. Теплоемкость компонентов и смеси газов. Расчет изменения энтропии в результате перемешивания газов.</p>			4					
<p>3. Тема 7.</p>						4		
<p>10. Модуль 3. Термодинамические свойства твердых тел</p>								

1. Лекция 17. Теплоемкость твердых тел. Классическая теория теплоемкости. Модель теплоемкости Эйнштейна. Модель теплоемкости Дебая. Особенности поведения теплоемкости слоистых и цепочечных кристаллов. Отклонения от теории Дебая. Лекция 18. Фазовые переходы, связанные с изменениями структуры твердых тел. Основы термодинамической теории Л.Д. Ландау. Термодинамический потенциал. Следствия термодинамической теории, описывающие калорические свойства при фазовых переходах, близких к трикритической точке. Связь термических и калорических свойств - Уравнения Пиппарда.	4							
2. Занятие 18. Фазовые переходы первого и второго рода в твердых телах. Уравнения Клапейрона-Клаузиуса и Эренфеста. Коэффициенты линейного и объемного расширения. Расчет скрытой теплоты переходов и барических коэффициентов.			2					
3. Лекции 1-18; Практические занятия 1-18							6	
Всего	36		36				36	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Флеров И. Н., Горев М. В. Теория теплофизических свойств веществ. Электро-, магнето- и барокалорический эффекты: методические указания по выполнению практических работ для студентов напр. подготовки дипломированных спец. 651100(Красноярск: ИПЦ КГТУ).
2. Кириллин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е. Техническая термодинамика: учеб. для студентов вузов по направлению подгот. 140100 "Теплоэнергетика"(Москва: МЭИ).
3. Тонков Е. Ю. Фазовые диаграммы элементов при высоком давлении: [справочник](Москва: Наука).
4. Варгафтик Н. Б., Филиппов Л. П., Тарзиманов А. А., Тоцкий Е. Е. Справочник по теплопроводности жидкостей и газов: справочное издание(Москва: Энергоатомиздат).
5. Кириллин В.А., Шейндлин А.Е. Исследования термодинамических свойств веществ(Москва: Госэнергоиздат).
6. Резницкий Л. А. Калориметрия твердого тела (структурные, магнитные, электронные превращения): монография(Москва: МГУ им. М. В. Ломоносова).

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. Офисный пакет (MS Office, Libre Office, Open Office)

4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Сайт библиотеки СФУ. Режим доступа: <http://bik.sfu-kras.ru/>
2. Электронный каталог библиотеки СФУ. Режим доступа: <http://catalog.sfu-kras.ru/>
3. Google Scholar. Режим доступа: <http://scholar.google.com>
4. Электронные базы научных статей по выбору студента.

5 Фонд оценочных средств

Оценочные средства находятся в приложении к рабочим программам дисциплин.

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Методика проведения занятий допускает как использование технических средств (проекторы, интерактивные доски), так и классические аудиторные занятия, обеспечиваемые стандартными материально-техническими средствами.

1. Лекционные аудитории должны быть оборудованы современным видеопроекционным оборудованием для презентаций, средствами звуковоспроизведения, экраном, и иметь выход в Интернет, а также иметь интерактивную доску или доску для письма маркерами.

2. Помещения для проведения семинарских занятий должны иметь мультимедийное оборудование, а также иметь интерактивную доску или доску для письма маркерами, учебную мебель трансформенного типа.

3. Библиотека должна иметь рабочие места для студентов, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных, локальную сеть университета и Интернет.

4. Наглядные пособия:

а) демонстрационные пособия (таблицы, схемы, графики, диаграммы, видеофрагменты);

б) пособия на основе раздаточного материала (карточки с заданиями и задачами, ксерокопии фрагментов первоисточников);

в) электронные презентации.