

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Факультет Мореходный
(наименование факультета, к которому относится кафедра)

Кафедра Технологические машины и оборудование
(наименование кафедры)

УТВЕРЖДАЮ
Декан мореходного факультета
Труднев С.Ю.

« 20 » 03 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Криофизика»

направление подготовки 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»

направленность (профиль) «Холодильная техника и технологии»

Петропавловск-Камчатский,
2019 г.

Рабочая программа составлена на основании ФГОС ВО по направлению подготовки 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения» (уровень бакалавриата) в соответствии с рабочим учебным планом подготовки бакалавров ФГБОУ ВО «КамчатГТУ», одобренным Ученым советом вуза (протокол № 8 от 17.04.2019 г.)

Составитель рабочей программы

доцент [подпись] Сарайкина И.П.
(должность, ученое звание, степень) (подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры ТМО
(наименование кафедры)

Протокол № 8 от « 14 » 03 20 19

« 14 » 03 20 19 [подпись] Костенко А.В.
(подпись) (Ф.И.О.)

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Дисциплина «Криофизика» является теоретической основой при изучении дисциплин программы подготовки бакалавров по направлению 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения».

Цель преподавания дисциплины:

- сформировать и конкретизировать знания по основополагающим принципам получения низких температур;
- подготовить специалистов к самостоятельному термодинамическому анализу и расчету рабочих процессов в низкотемпературных системах, а также к выбору рациональных методов достижения поставленных задач в области получения и использования низких температур.

Задачей курса является формирование навыков и умения по следующим направлениям деятельности:

- применение принципов термодинамики для расчета и анализа низкотемпературных процессов;
- определение параметров и свойств рабочих тел холодильных машин и криогенных систем с использованием термодинамических таблиц и диаграмм;
- расчет параметров рабочего тела в процессах, сопровождающихся понижением температуры;
- определение характеристик и потерь при осуществлении процессов получения криогенных температур;
- анализ процессов охлаждения с целью выбора оптимального способа получения необходимого уровня низких температур;

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Криофизика» направлен на формирование *обще-профессиональных компетенции (ОПК)* и *профессиональных компетенций (ПК)* в области расчетно-экспериментальной с элементами научно-исследовательской деятельности, на которые ориентирована программа бакалавриата:

- способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности (ОПК-1);
- способность выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их анализа соответствующий физико-математический аппарат (ПК-1).

Перечень планируемых результатов обучения при изучении дисциплины приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1. – Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код компетенции	Планируемые результаты освоения образовательной программы	Планируемый результат обучения по дисциплине	Код показателя освоения
ОПК-1	способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникацион-	<i>знать:</i>	
		– современные достижения науки и техники области холодильной, криогенной техники и систем кондиционирования;	З(ОПК-1)1
		– методы поиска информации;	З(ОПК-1)2
		<i>уметь:</i>	
		– анализировать и обрабатывать полученную на-	У(ОПК-1)1

	ных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	учно-техническую информацию; – пользоваться учебной и справочной литературой;	У(ОПК-1)2
		<i>владеть навыками:</i> – сбора и обработки научно-технической информации, изучение передового отечественного и зарубежного опыта в области криологии;	В(ОПК-1)1
ПК-1	способность выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их анализа соответствующий физико-математический аппарат	<i>знать:</i> – особенности методологии применения основных физических и термодинамических принципов для расчета и исследования процессов получения низких температур;	З(ПК-1)1
		– основные процессы, сопровождающиеся понижением температуры и их термодинамический анализ: термомеханические, магнитокалорические, электрокалорические и термоквантовые;	З(ПК-1)2
		– основные параметры и свойства рабочих тел криогенных систем;	З(ПК-1)3
		– способы определения свойств рабочих веществ (в том числе смесей) в различных состояниях и в условиях фазового равновесия;	З(ПК-1)4
		<i>уметь:</i> – определять термодинамические параметры рабочих тел низкотемпературных установок;	У(ПК-1)1
		– термодинамически анализировать и строить процессы получения низких температур в термодинамических диаграммах;	У(ПК-1)2
		– рассчитывать основные характеристики процессов понижения температур;	У(ПК-1)3
		<i>владеть навыками:</i> – решения практических задач в области криологии;	В(ПК-1)1
		– расчетно-экспериментальной работы в составе научно-исследовательской группы на основе классических и технических теорий и методов, достижений техники и технологий;	В(ПК-1)2
		– использования результатов научно-технических и проектно-конструкторских разработок холодильной и криогенной техники.	В(ПК-1)3

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Криофизика» является базовой дисциплиной в структуре образовательной программы подготовки бакалавров по направлению 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и систем жизнеобеспечения».

Изучение дисциплины базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин «Высшая математика», «Физика», «Химия», «Термодинамика и теплообмен».

Знания, умения и навыки, приобретенные в результате изучения дисциплины, используются при изучении профильных дисциплин учебного плана: «Научные основы криологии», «Теория и расчет циклов криогенных систем», «Теоретические основы холодильной техники».

3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В соответствии с учебным планом подготовки бакалавров по направлению 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения» преподавание дисциплины реализуется в 5 семестре обучения.

Тематический план дисциплины по очной форме обучения представлен в таблице 3.1., по заочной форме обучения – в таблице 3.2.

Таблица 3.1. – Тематический план дисциплины по очной форме обучения

Наименование разделов и тем	Всего часов	Аудиторные занятия	Контактная работа по видам учебных занятий			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	Итоговый контроль знаний по дисциплине
			Лекции	Семинары (практические занятия)	Лабораторные работы			
Раздел 1. Основные понятия и законы криофизики. Свойства рабочих тел низкотемпературных систем	64	36	12	24		28	О	
Тема 1. Температурные шкалы	20	6	4	2		14	ПЗ Кл Рф	
Тема 2. Свойства рабочих тел низкотемпературных систем	44	30	8	22		14	ПЗ Кр Кл Рф	
Раздел 2. Физические основы получения низких температур	116	66	22	44		50	О	
Тема 3. Термомеханические способы охлаждения	48	28	8	20		20	ПЗ РГР Кр Кл Рф	
Тема 4. Процессы охлаждения с использованием рабочего тела в твердом состоянии	37	22	8	14		15	ПЗ Кл Рф	
Тема 5. Термоквантовые способы охлаждения	31	16	6	10		15	ПЗ Кл Рф	
Экзамен	36							36
Всего	216	102	34	68		78		36

Примечание: О – опрос; ПЗ – практические задания; Кр – контрольная работа; Кл – коллоквиум; РГР – расчетно-графическая работа (контрольная работа для студентов ЗФО); РФ – реферат (доклад)

Таблица 3.2. – Тематический план дисциплины по заочной форме обучения

Наименование разделов и тем	Всего часов	Аудиторные занятия	Контактная работа по видам учебных занятий			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	Итоговый контроль знаний по дисциплине
			Лекции	Семинары (практические занятия)	Лабораторные работы			
Раздел 1. Основные понятия и законы криофизики. Свойства рабочих тел низкотемпературных систем	73	10	4	6		63	О	
Тема 1. Температурные шкалы	34	4	2	2		30	ПЗ	
Тема 2. Свойства рабочих тел низкотемпературных систем	39	6	2	4		33	ПЗ Кр	
Раздел 2. Физические основы получения низких температур	134	14	6	8		120	О	
Тема 3. Термомеханические способы охлаждения	54	4	2	2		50	ПЗ РГР Кр	
Тема 4. Процессы охлаждения с использованием рабочих тел в твердом состоянии	41	6	2	4		35	ПЗ	
Тема 5. Термоквантовые способы охлаждения	39	4	2	2		35	ПЗ	
Экзамен	36							9
Всего	216	24	10	14		183		9

Примечание: О – опрос; ПЗ – практические задания; Кр – контрольная работа; Кл – коллоквиум; РГР – расчетно-графическая работа (контрольная работа для студентов ЗФО).

**Раздел 1. Основные понятия и законы криофизики.
Свойства рабочих тел низкотемпературных систем**

Тема 1. Температурные шкалы

Лекция. Введение. Криология, ее промышленное и научное значение.

Рассматриваемые вопросы. Сферы приложения криогеники, ее важное промышленное и научное значение. История развития криогеники.

Лекция. Термодинамическая (абсолютная температура).

Рассматриваемые вопросы. Температурные шкалы. Абсолютная термодинамическая шкала температур. Взаимосвязь энтропии и температуры. Принцип недостижимости абсолютного нуля термодинамической температуры.

Практическое занятие. Температурные шкалы.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Изучение структуры и принципа построения температурных шкал. Перевод значения температуры из одной температурной шкалы в

другую.

Основные понятия темы: Криология. Криогенная техника. Температурные шкалы. Абсолютная термодинамическая шкала. Энтропия и температура. Абсолютный ноль термодинамической шкалы.

Тема 2. Свойства рабочих тел низкотемпературных систем

Лекция. Основные понятия и законы криофизики.

Рассматриваемые вопросы. Контрольная система. Принцип сохранения массы и энергии. Материальный баланс контрольной системы для однородных и неоднородных по составу потоков массы. Первое и второе начало термодинамики применительно к рабочим телам и процессам физики низких температур. Энергетический баланс.

Лекция. Определение термодинамического состояния рабочих тел низкотемпературных систем. Уравнения состояния.

Рассматриваемые вопросы. Термическое и калорическое уравнения состояния. Уравнения состояния идеального газа. Уравнения Ван-дер-Ваальса состояния реального газа

Лекция. Термодинамические диаграммы рабочих тел.

Рассматриваемые вопросы. Равновесные состояния и фазовые переходы чистых веществ. Диаграммы p -Вири- T чистых веществ. Тройная и критическая точки. Правило фаз Гиббса. Равновесные состояния и фазовые переходы бинарных систем.

Практическое занятие. Тепловые диаграммы хладагентов и криоагентов.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Изучение структуры и принципа построения тепловых диаграмм чистых веществ.

Практическое занятие. Диаграммы равновесных состояний двухкомпонентных смесей криоагентов.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Построение термодинамических процессов и определение состава и термодинамического состояния двухкомпонентных смесей криоагентов с помощью равновесных диаграмм: p - x ; T - x ; T - p - x - y ; x - y ; x - i и T - p - i - x - y .

Лекция. Основные свойства рабочих тел низкотемпературных систем.

Рассматриваемые вопросы. Температуры и давления кипения, плавления, критической и тройной точек. Плотность льда, насыщенной жидкости и насыщенного пара. Теплота испарения и плавления. Удельная теплоемкость насыщенной жидкости и насыщенного пара.

Практическое занятие. Определение термодинамического состояния рабочих тел низкотемпературных систем.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Использование термодинамических таблиц и T - s диаграмм для определения термодинамических параметров воздуха, азота, кислорода, водорода и гелия и хладагентов.

Практическое занятие. Изучение свойств воздуха и продуктов его разделения.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Состав сухого воздуха у поверхности Земли. Термодинамические, теплофизические и эксплуатационные свойства азота, кислорода, аргона, криптона и ксенона.

Практическое занятие. Изучение свойств водорода.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Свойства изотопов водорода. Способы получения водорода. Орто-паросостав и орто-пароконверсия водорода.

Практическое занятие. Изучение свойств гелия.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Изотопы ^4He и ^3He . Зависимость теплоемкости газообразного и жидкого ^4He от температуры. p - T диаграмма ^4He и ^3He . Сверхтекучее состояние ^4He , λ -переход из области состояния ^4HeI в $^4\text{HeII}$. Свойства раствора ^3He в ^4He .

Практическое занятие. Контрольная работа.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Определение параметров криоагентов с использованием термодинамических таблиц и диаграмм.

Практическое занятие. Коллоквиум.

Семинар. Устный опрос с целью выяснения уровня знаний студентов группы по материалу 1 раздела. Заслушивание и обсуждение докладов.

Контрольные вопросы:

- 1) Какую температурную область охватывает криогенная техника?
- 2) Как формулируется уравнение материального баланса?
- 3) Как формулируется уравнение энергетического баланса закрытой термомеханической системы?
- 4) Как формулируется уравнение энергетического баланса открытой термомеханической системы?
- 5) Что такое принцип возрастания энтропии?
- 6) Как формулируется третье начало термодинамики?
- 7) Какое значение имеют критическая температура и критическое давление?
- 8) Где и почему в T-s диаграмме линии изохор имеют точку перелома?
- 9) Как располагаются в диаграмме T-s в области влажного насыщенного пара линии изобар и изотерм и почему?
- 10) Какая из линий, исходящих на диаграмме T-s из одной точки, располагается круче: изобара или изохора – и почему?
- 11) Всегда ли в T-s диаграмме изобары однофазных состояний являются восходящими кривыми и почему?
- 12) Какие изотопы водорода вы знаете?
- 13) В чем отличие параводорода от ортоводорода?
- 14) Каков состав нормального водорода?
- 15) Что такое конверсия водорода?
- 16) Что происходит при длительном хранении жидкого нормального водорода?
- 17) Какие изотопы гелия вы знаете?
- 18) Что такое λ -переход и при каких условиях он происходит?
- 19) Объясните суть явления сверхтекучести жидкого гелия.
- 20) Правило фаз Гиббса. Привести примеры для чистого вещества и бинарной смеси веществ.
- 21) Что является низкокипящим и высококипящим компонентом в смеси кислород-азот?
- 22) Что такое азеотропная бинарная смесь?
- 23) От чего зависит величина минимальной теоретической работы разделения газовой смеси? Почему действительная работа разделения газовой смеси, даже в наиболее совершенных установках, значительно превышает теоретическую?
- 24) Что такое относительная летучесть? От чего зависит относительная летучесть идеальной и реальной бинарных систем?
- 25) В чем состоят преимущества и недостатки процессов фракционного испарения и конденсации при использовании их для разделения воздуха?

Основные понятия темы: Принцип сохранения массы и энергии. Законы термодинамики в физике низких температур. Материальный и энергетический баланс контрольной системы. Уравнение состояния. Термодинамические диаграммы. Тройная и критическая точки. Равновесные состояния и фазовые переходы чистых веществ. Правило фаз Гиббса. Свойства криоагентов и холодильных агентов.

Раздел 2. Физические основы получения низких температур

Тема 3. Термомеханические способы охлаждения

Лекция. Физические основы получения низких температур. Общий принцип охлаждения.

Рассматриваемые вопросы. Классификация способов охлаждения. Внешнее и внутреннее охлаждение. Понятие о холодопроизводящем процессе.

Лекция. Изэнтропное расширение.

Рассматриваемые вопросы. Термомеханические способы получения криогенных температур. Качественный анализ процесса изэнтропного расширения. Количественная оценка изменения температуры в процессе изэнтропного расширения.

Практическое занятие. Термодинамический процесс сжатия реального газа.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Изменение основных термодинамических величин при сжатии реального газа. Определение термодинамических параметров и построение процесса сжатия газа в $T-s$ диаграммах криоагентов.

Практическое занятие. Изменение основных термодинамических величин при изэнтропном расширении газов.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Определение термодинамических параметров и построение процесса изэнтропного расширения в $T-s$ диаграммах криоагентов.

Практическое занятие. Адиабатное расширение газа с совершением внешней работы в объемных и лопаточных машинах.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Схема и принцип работы криогенного поршневого детандера. Теоретическая индикаторная диаграмма поршневого детандера. Схема и принцип действия турбодетандера.

Лекция. Адиабатное дросселирование (изоэнтальпийное расширение).

Рассматриваемые вопросы. Процесс дросселирования. Изменение температуры в процессе адиабатного дросселирования. Дифференциальный дроссель-эффект (коэффициент Джоуля-Томсона). Точки инверсии, кривая инверсии.

Практическое занятие. Изучение эффекта Джоуля-Томсона.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Установка Джоуля-Томсона для исследования дросселирования газов и ее расчетная схема. Определение изменения температуры при дросселировании реального газа.

Практическое занятие. Сопоставление изэнтропного и изоэнтальпийного расширений как способа охлаждения.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Построение в термодинамических диаграммах и анализ процессов изэнтропного расширения и дросселирования в однофазной и двухфазной областях.

Лекция. Охлаждение с помощью откачки паров.

Рассматриваемые вопросы. Достоинства криостатирования объектов с помощью криогенных жидкостей. $p-T$ диаграмма чистого однородного вещества, тройная точка. Состояние равновесия между жидкостью и паром. Количественная оценка процесса. Диапазоны температур, получаемых с помощью криожидкостей.

Практическое занятие. Расчет процесса охлаждения с помощью откачки паров жидкого криоагента.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Построение зависимости температуры насыщения от давления для различных веществ. Определение количества жидкости, удаляемой в виде пара для получения необходимой разницы температур.

Практическое занятие. Контрольная работа.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Расчет процессов термомеханического охлаждения.

Практическое занятие. Коллоквиум.

Семинар. Устный опрос по теме «Термомеханические способы получения низких температур».

Контрольные вопросы:

- 1) Кратко опишите основные методы внешнего и внутреннего охлаждения.

- 2) Как определяется работа компрессора при изотермическом и изоэнтальпийном сжатии?
- 3) Как определяется теплота, отводимая от рабочего вещества при изотермическом сжатии?
- 4) Как определяется теплота, отводимая от рабочего вещества после изоэнтальпийного сжатия?
- 5) Какие процессы для получения низких температур являются холодопроизводящими, а какие – нехолодопроизводящими?
- 6) Объясните, почему дросселирование для идеального газа является полностью необратимым процессом, а для реального газа этот процесс частично обратим?
- 7) Почему можно допустить, что процесс дросселирования протекает адиабатно? Для чего вводится это допущение?
- 8) Почему процесс дросселирования изображается в диаграмме штриховой линией?
- 9) Дайте определение дифференциального эффекта Джоуля-Томсона, его физическая сущность.
- 10) Всегда ли температура рабочего тела при дросселировании снижается? Поясните примерами.
- 11) Что такое кривая инверсии и как она располагается в $T-s$ диаграмме?
- 12) Что означают понятия «точка инверсии» и «кривая инверсии»?
- 13) Покажите процесс дросселирования и кривую состояния инверсии в диаграмме $s-T$.
- 14) Дайте определение дифференциального эффекта детандирования. В чем заключается его физическая сущность?
- 15) Как изменяется дифференциальный эффект детандирования при изменении температуры, давления?
- 16) В чем заключается трудность ожижения газа путем использования одного адиабатного расширения?
- 17) Какой из процессов более эффективный: изоэнтальпийное расширение или выхлоп?

Основные понятия темы: Термодинамический процесс сжатия реального газа. Изоэнтальпийное расширение. Адиабатное расширение газа с совершением внешней работы. Адиабатное дросселирование. Эффект Джоуля-Томсона. Охлаждение путем откачки паров жидкого рабочего тела.

Тема 4. Процессы охлаждения с использованием рабочих тел в твердом состоянии

Лекция. Адиабатное размагничивание.

Рассматриваемые вопросы. Магнитокалорические способы получения криогенных температур. Принцип адиабатного размагничивания. Поведение вещества в магнитном поле. Диамагнетики и парамагнетики. Взаимосвязь энтропии парамагнетика с его температурой и напряженностью магнитного поля. Термодинамика процесса.

Практическое занятие. Использование адиабатного размагничивания для получения температур ниже одного кельвина.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. $T-s$ диаграмма парамагнитной соли. Характеристики парамагнитных солей. Процесс адиабатного размагничивания парамагнитной соли. Магнитный термометр.

Практическое занятие. Магнитные криогенные машины.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Принципиальная схема цикла в $T-s$ диаграмме магнитной криогенной машины. Зависимость магнитокалорического эффекта различных материалов от температуры.

Практическое занятие. Поршневая магнитная криогенная машина.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Конструктивная схема и принцип работы поршневой магнитной криогенной машины.

Лекция. Десорбционное охлаждение

Рассматриваемые вопросы. Процесс физической адсорбции. Схема аппарата для десорбционного охлаждения.

Практическое занятие. Непрерывно действующий десорбционный охладитель.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Конструктивная схема и принцип работы десорбционного регенеративного охладителя.

Лекция 2.7. Ядерное размагничивание. Адиабатное намагничивание сверхпроводников.

Рассматриваемые вопросы. Схема эксперимента по ядерному размагничиванию. $T-s$ диаграмма сверхпроводника. Зависимость критической напряженности магнитного поля от температуры.

Лекция. Электрокалорический способ охлаждения – деполяризация диэлектриков.

Рассматриваемые вопросы. Классификация диэлектриков. Количественная характеристика поляризации диэлектриков. Условия осуществления процесса охлаждения путем деполяризации диэлектриков.

Практическое занятие. Магнитный термометр.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Принципиальная схема измерения магнитной восприимчивости. Принцип работы магнитного термометра

Основные понятия темы: Магнитокалорические способы получения криогенных температур. Адиабатное размагничивание. Магнитные криогенные машины. Десорбционное охлаждение. Ядерное размагничивание. Сверхпроводники. Магнитный термометр.

Тема 5. Термоквантовые способы охлаждения

Лекция. Термоквантовые способы получения низких температур с использованием свойств изотопов гелия – He^3 и He^4 .

Рассматриваемые вопросы. Некоторые свойства He^3 . Фазовая и энтропийная диаграммы He^3 . Сверхтекучесть He^3 .

Лекция. Охлаждение по методу Померанчука.

Рассматриваемые вопросы. Процесс охлаждения по методу Померанчука в фазовой и энтропийной диаграммах. Особенности протекания процесса и трудности практического воплощения.

Лекция. Способ охлаждения основанный на тепловом эффекте растворения изотопа He^3 в He^4 .

Рассматриваемые вопросы. Свойства жидких растворов $He^3 - He^4$. Фазовая диаграмма смеси He^3 и He^4 . Охлаждение при растворении He^3 в He^4 .

Практическое занятие. Рефрижератор растворения.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Принципиальная схема рефрижератора растворения. Холодопроизводительность и предельная температура, получаемые в рефрижераторе.

Практическое занятие. Сравнительный термодинамический и экономический анализ процессов получения криогенных температур.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Рассмотрение процессов получения низких температур с точки зрения термодинамической и энергетической эффективности. Области использования. Заслушивание докладов по материалам рефератов. Защита расчетно-графической работы «Использование реальных свойств рабочих веществ для расчета низкотемпературных процессов».

Основные понятия темы: Термоквантовые способы охлаждения с использованием изотопов гелия. Процесс охлаждения по методу Померанчука. Рефрижератор растворения.

Практическое занятие. Коллоквиум

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Устный опрос с целью выяснения уровня знаний студентов группы по материалу тем: «процессы охлаждения с использованием рабочего тела в твердом состоянии», «Термоквантовые способы охлаждения».

Контрольные вопросы:

- 1) Приведите цикл работы магнитной криогенной машины в T-s диаграмме парамагнитной соли.
- 2) Выведите формулу для магнитокалорического коэффициента.
- 3) Приведите цикл в T-s диаграмме магнитной криогенной машины.
- 4) Приведите конструктивную схему десорбционного регенеративного охладителя.
- 5) Приведите принципиальную схему рефрижератора растворения.
- 1) В чем состоит общий принцип охлаждения с использованием рабочих тел в твердом состоянии.
- 2) В каких случаях следует применять адиабатное размагничивание?
- 3) В чем состоит принцип охлаждения путем адиабатного размагничивания парамагнитных солей?
- 4) В чем состоит принцип работы магнитной криогенной машины.
- 5) В чем состоит принцип десорбционного охлаждения.
- 6) В чем заключается явление сверхпроводимости.
- 7) В чем состоит особенность протекания процесса охлаждения по методу Померанчука и трудности его практического воплощения.
- 8) Объясните на чем заключается способ охлаждения основанный на тепловом эффекте растворения изотопа ^3He в ^4He .
- 9) Каковы холодопроизводительность и предельная температура, получаемые в рефрижераторе растворения?
- 10) Какие термометры применяются для измерения температуры ниже 1 К.

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Самостоятельная работа студентов (СРС) включает следующие виды работ:

- проработка (углубленное изучение) лекционного материала, работа с конспектами лекций;
- работа с основной и дополнительной литературой;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к контрольной работе;
- чтение и проработка рекомендованной основной и дополнительной литературы;
- поиск и проработка материалов из Интернет-ресурсов, периодической печати;
- выполнение реферата;
- подготовка докладов по теме реферата;
- подготовка презентаций для иллюстрации докладов;
- подготовка к текущему (коллоквиум) и итоговому (промежуточной аттестации) контролю знаний по дисциплине (экзамен).

Тема 3.

Выполнение и защита расчетно-графической работы «Использование реальных свойств рабочих веществ для расчета низкотемпературных процессов» (контрольная работы – для студентов заочной формы обучения).

Аудиторная и внеаудиторная СРС выполняется в соответствии с методическими указаниями – Сарайкина И.П. Криофизика: Методические указания по изучению дисциплины / И. П. Сарайкина. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2018. – 43 с.

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ЭКЗАМЕН)

1. Криология. Область применения холодильной и криогенной техники и ее особенности.

2. Контрольная система. Принцип сохранения массы и энергии. Материальный баланс контрольной системы для однородных и неоднородных по составу потоков массы.
3. Первое начало термодинамики. Энергетический баланс.
4. Второе начало термодинамики. Понятие энтропии.
5. Термические и калорические уравнения состояния.
6. Уравнения состояния идеального газа.
7. Уравнение Ван-дер-Ваальса состояния реального газа.
8. Температурные шкалы в криогенике. Абсолютная термодинамическая шкала температур.
9. Взаимосвязь энтропии и температуры. Принцип недостижимости абсолютного нуля термодинамической температуры.
10. Диаграммы p - V и p - T чистых веществ. Тройная и критическая точки. Правило фаз Гиббса.
11. T - s диаграмма и определение термодинамических параметров криоагентов.
12. Бинарные и многокомпонентные смеси. Методы выражения концентраций. Правило фаз Гиббса.
13. Особенности поведения бинарных смесей в двухфазной области. Диаграммы бинарной смеси, построение процессов испарения и конденсации.
14. Основные термодинамические, теплофизические и специфические свойства азота.
15. Основные термодинамические, теплофизические и специфические свойства кислорода.
16. Основные термодинамические, теплофизические и специфические свойства водорода. Изотопы водорода. Орто-паросостав и орто-пароконверсия водорода.
17. Основные термодинамические, теплофизические и специфические свойства изотопа гелия ^4He . p - T диаграмма ^4He . Сверхтекучее состояние HeII , λ -переход из области состояния HeI в HeII .
18. Основные термодинамические, теплофизические и специфические свойства изотопа гелия ^3He . p - T диаграмма ^3He .
19. Взаимосвязь энтропии и температуры. Закон Нернста о недостижимости абсолютного нуля температур.
20. Процесс сжатия реального газа. Изменение основных термодинамических величин и построение процесса сжатия газа в T - s диаграммах криоагентов.
21. Классификация способов охлаждения. Внешнее и внутреннее охлаждение. Холодопроизводящий процесс.
22. Изоэнтропное расширение. Изменение основных термодинамических величин при изоэнтропном расширении криоагентов.
23. Адиабатное расширение газа с совершением внешней работы в объемных машинах. Теоретическая индикаторная диаграмма поршневого детандера.
24. Адиабатное расширение газа с совершением внешней работы в лопаточных машинах. Схема и принцип действия турбодетандера.
25. Процесс дросселирования. Изменение температуры в процессе адиабатного дросселирования. Эффекта Джоуля-Томсона.
26. Дифференциальный дроссель-эффект (коэффициент Джоуля-Томсона). Точки инверсии, кривая инверсии.
27. Установка Джоуля-Томсона для исследования дросселирования газов и ее расчетная схема.
28. Сопоставление изоэнтропного и изоэнтальпийного расширений как способа охлаждения в однофазной и двухфазной областях.
29. Охлаждение с помощью откачки паров. Состояние равновесия между жидкостью и паром. Количественная оценка процесса. Диапазоны температур, получаемых с помощью криожидкостей.
30. Адиабатное размагничивание. Термодинамика процесса. Использование адиабатного размагничивания для получения температур ниже одного кельвина.

31. T-s диаграмма парамагнитной соли. Процесс адиабатного размагничивания парамагнитной соли.
32. Принципиальная схема цикла в T-s диаграмме магнитной криогенной машины.
33. Конструктивная схема и принцип работы поршневой магнитной криогенной машины.
34. Десорбционное охлаждение. Схема аппарата для десорбционного охлаждения.
35. Конструктивная схема и принцип работы десорбционного регенеративного охладителя.
36. Ядерное размагничивание. Схема эксперимента по ядерному размагничиванию
37. Адиабатное намагничивание сверхпроводников. T-s диаграмма сверхпроводника. Зависимость критической напряженности магнитного поля от температуры.
38. Электрокалорический способ охлаждения – деполяризация диэлектриков.
39. Рассматриваемые вопросы. Классификация диэлектриков. Условия осуществления процесса охлаждения путем деполяризации диэлектриков.
40. Процесс охлаждения по методу Померанчука в фазовой и энтропийной диаграммах. Особенности протекания процесса и трудности практического воплощения.
41. Способ охлаждения основанный на тепловом эффекте растворения изотопа He3 в He4. Фазовая диаграмма смеси He3 и He4.
42. Принципиальная схема рефрижератора растворения. Холодопроизводительность и предельная температура, получаемые в рефрижераторе.

6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Криогенные системы: Учебник для студентов вузов: В 2 т. Т.1. Основы теории и расчета / А.М. Архаров, И.В. Марфенина, Е.И. Микулин. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1996. – 576 с. (25 экз. + эл. вариант)

Дополнительная литература

1. Справочник по физико-техническим основам криогеники / М.П. Малков, И.П. Данилов, А.Г. Зельдович, А.Б. Фрадков; Под ред. М.П. Малкова. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.
2. Теплофизические свойства криопродуктов / Л.А. Акулов, Е.И. Борзенко, В.Н. Новотельнов, А.В. Зайцев. – СПб.: Политехника, 2001. – 243 с.
3. Термодинамические основы криогенной техники / В.М. Бродянский, А.М. Семенов. – М.: Энергия, 1980. – 447 с.
4. Искусство криогеники. Низкотемпературная техника в физическом эксперименте, промышленных и аэрокосмических приложениях. Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство / Г. Вентура, Л. Ризергари – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. 336с.
5. Журнал «Холодильная техника».

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [сайт]. URL: <http://www.elibrary.ru>;
2. Камчатский государственный университет: [сайт]. URL: <http://www.kamchatgtu.ru>;
3. <http://www.holodilshchik.ru>;
4. <http://www.alfalaval.ru>;
5. <http://www.danfoss.com/ru-ru>;
6. <http://www.kriotek.ru>

Методические указания

1. Сарайкина И.П. Криофизика: Методические указания по изучению дисциплины / И. П. Сарайкина. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2018. – 43 с.

7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

При изучении дисциплины рекомендуется использовать методические указания (Сарайкина И.П. Кривофизика: Методические указания по изучению дисциплины / И. П. Сарайкина. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2018. – 43 с.) которые содержат:

- краткую характеристику дисциплины;
- цели и задачи изучения дисциплины;
- содержание дисциплины;
- рекомендации по организации самостоятельной работы студентов;
- содержание, варианты заданий и методические рекомендации по выполнению расчетно-графической работы (контрольной работы для студентов заочной формы обучения);
- перечень вопросов к промежуточной аттестации (экзамену);
- рекомендуемую литературу.

Содержание практических занятий и методические рекомендации по выполнению практических заданий по изучаемым темам также содержатся в методических указаниях по изучению дисциплины.

8. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ (РАБОТА)

Не предусмотрено.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса:

- приложение Microsoft Power Point;
- текстовый редактор Microsoft Office Word.

Перечень информационно-справочных систем:

- единая информационная образовательная среда университета «ЭИОС КамчатГТУ»;
- электронная библиотечная система;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU;
- электронный каталог научно-технической библиотеки КамчатГТУ.

11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Материально-техническая база для осуществления образовательного процесса по дисциплине, имеющаяся в распоряжении КамчатГТУ:

- для проведения занятий лекционного типа, практических (семинарских) занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, специализированная учебная аудитория 3-213 с комплектом учебной мебели;
- для самостоятельной работы обучающихся – аудитория 3-208, оборудованная комплектом учебной мебели;
- читальный зал и библиотечные каталоги научно-технической библиотеки КамчатГТУ;
- мультимедийное оборудование (ноутбук, проектор).

Перечень программных продуктов, используемых при проведении различных видов занятий

- презентации в Power Point по темам курса.

Дополнения и изменения в рабочей программе за _____ / _____ учебный год

В рабочую программу по дисциплине Криофизика

для направления (ний) 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»
специальности (тей)

вносятся следующие дополнения и изменения:

Дополнения и изменения внес _____
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ТМО
(наименование кафедры)

Протокол № _____ от «_____» _____ 201__ г.

Заведующий кафедрой

«_____» _____ 201__ г. _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)