

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ТЕХНИКА В ФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
2	2	72	15	15	0	42	0	3 КР
Итого	2	72	15	15	0	42	0	

АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются методы получения низких температур и их применения при экспериментальных исследованиях в физике твердого тела. Рассматриваются свойства различных материалов при низких температурах, применение жидких азота и гелия в качестве хладагентов. Подробно изучаются особенности измерений при низких температурах, в частности низкотемпературная термометрия. Рассматриваются методы расчета и проектирования низкотемпературных устройств, предназначенных для научных исследований. Уделяется внимание конструктивным схемам гелиевых и азотных устройств, способам получения промежуточных температур, материалы в криогенной технике, а также сопутствующие проблемы, возникающие при конструировании криостатов.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Показать возможность современных методов получения низких температур и их применения в физических лабораториях. Научить самостоятельно эксплуатировать устройства, предназначенные для работы с жидким гелием и азотом. Дать практический навык на базе ясного физического понимания проведения низкотемпературного эксперимента в области сверхпроводимости и физики наноструктур.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс опирается на материал следующих дисциплин, читаемых студентам физико-математических специальностей: статистическая физика и термодинамика, физика конденсированного состояния вещества, материаловедение (технология конструкционных материалов), начертательная геометрия, и подобных им.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам общей физики и университетскому курсу математики. Необходимо знать дифференциальное и интегральное исчисление, статистику и термодинамику, электричество и магнетизм, в том числе в материальных средах.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
--	---------------------------	---	---

		опыта)	
научно-исследовательский			
<p>Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований; участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных теоретических моделей, экспериментальных данных и компьютерных технологий.</p>	<p>Запланированные этапы исследования; результаты наблюдений и измерений.</p>	<p>ПК-3 [1] - Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области в соответствии с целями программы специализированной подготовки магистра</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.022, 26.003</p>	<p>З-ПК-3[1] - Знать основные методы исследований, принципы работы приборов и установок в избранной предметной области ; У-ПК-3[1] - Уметь выбирать необходимые технические средства для проведения экспериментальных исследований в избранной предметной области, обрабатывать полученные экспериментальные результаты; В-ПК-3[1] - Владеть навыками работы с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области</p>
<p>Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований; участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении</p>	<p>Запланированные этапы исследования; результаты наблюдений и измерений.</p>	<p>ПК-20.1 [1] - Способен пользоваться основными теоретическими моделями физики конденсированного состояния вещества, взаимодействия излучения с веществом в конденсированном состоянии, моделями фазовых переходов и физики сверхпроводимости, экспериментальными методами исследования структурных и электронных свойств, современными достижениями физики сверхпроводимости,</p>	<p>З-ПК-20.1[1] - знать основные теоретические модели физики конденсированного состояния вещества, модели взаимодействия оптического излучения с веществом, классификацию фазовых переходов, основные экспериментальные факты и применения физики сверхпроводимости и криогенной техники, современные достижения физики полупроводников и гетероструктур; У-ПК-20.1[1] - уметь</p>

<p>эксперимента и обработке данных с использованием современных теоретических моделей, экспериментальных данных и компьютерных технологий.</p>		<p>полупроводников и гетероструктур.</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 26.003</p>	<p>сформулировать теоретическую и математическую модель для изучаемой задачи физики конденсированного состояния вещества, провести необходимые расчеты величин и оценки параметров; В-ПК-20.1[1] - владеть основными теоретическими моделями физики конденсированного состояния вещества, взаимодействия излучения с веществом, физики фазовых переходов и сверхпроводимости</p>
<p>инновационный;</p>			
<p>Сбор и анализ информационных источников и исходных данных для планирования и разработки исследовательских проектов; подготовка исходных данных для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; участие в разработке и реализации проектов исследовательской и инновационной направленности в команде исполнителей.</p>	<p>Научно-технические и организационные решения.</p>	<p>ПК-4 [1] - Способен находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, стоимости, сроков исполнения, конкурентоспособности и безопасности жизнедеятельности</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.022, 26.003</p>	<p>3-ПК-4[1] - Знать основные методы и принципы нахождения оптимальных решений при создании продукции с учетом требований качества, стоимости, сроков исполнения, конкурентоспособности и безопасности жизнедеятельности. ; У-ПК-4[1] - Уметь находить оптимальные решения при создании и освоении новой продукции и технологии, разрабатывать эффективную стратегию с учетом требований качества, стоимости, сроков исполнения, конкурентоспособности и безопасности жизнедеятельности. ; В-ПК-4[1] - Владеть навыками нахождения оптимальных решений для создания и освоения новой продукции с</p>

<p>сбор и анализ информационных источников и исходных данных для планирования и разработки исследовательских проектов; подготовка исходных данных для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; участие в разработке и реализации проектов исследовательской и инновационной направленности в команде исполнителей.</p>	<p>научно-технические и организационные решения</p>	<p>ПК-22.3 [1] - Способен ориентироваться в основных фазовых переходах, основных теоретических подходах к их описанию и исследованию, основных экспериментальных фактах физики сверхпроводимости и криогенной техники, их применениях в экспериментальной технике и промышленности</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.022</p>	<p>учетом требований качества, стоимости, сроков исполнения, конкурентоспособности и безопасности жизнедеятельности</p> <p>З-ПК-22.3[1] - знать классификацию фазовых переходов, основные экспериментальные факты и применения физики сверхпроводимости и криогенной техники ; У-ПК-22.3[1] - уметь предложить схему эксперимента для исследования фазовых переходов в современных материалах, применения современных сверхпроводящих материалов ; В-ПК-22.3[1] - владеть основными теоретическими моделями и экспериментальными фактами физики фазовых переходов и сверхпроводимости</p>
<p>производственно-технологический</p>			
<p>участие в модернизации существующих, разработке и внедрении новых методов контроля качества материалов, производственно-технологических процессов и готовой продукции в сфере высоких и наукоемких технологий;</p>	<p>методы контроля качества материалов, процессов и продукции</p>	<p>ПК-9 [1] - Способен проводить математическое и компьютерное моделирование объектов, систем, процессов и явлений в избранной предметной области</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.022, 29.004</p>	<p>З-ПК-9[1] - Знать основные методы и принципы математического и компьютерного моделирования объектов, систем, процессов и явлений в избранной предметной области. ; У-ПК-9[1] - Уметь применять методы математического и компьютерного моделирования объектов, систем, процессов и явлений в избранной предметной области;</p>

			В-ПК-9[1] - Владеть навыками математического и компьютерного моделирования объектов, систем, процессов и явлений
педагогический			
проведение семинарских и лабораторных занятий со студентами по курсам из области физики конденсированного состояния вещества: физика твёрдого тела, физика полупроводников, наноструктур, низких температур, сверхпроводимости и взаимодействия излучения с веществом; проведение практикумов и лабораторных работ по учебным курсам, связанным с математическим моделированием в физике конденсированного состояния вещества; организация и проведение контрольных и самостоятельных работ, тестирований и других контрольных мероприятий по курсам из области физики конденсированного состояния вещества.	занятия по профильным предметам в университете	ПК-12 [1] - Способен преподавать специальные дисциплины в области общей, прикладной и фундаментальной физики, включая проведение лабораторных работ <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 01.003	З-ПК-12[1] - Знать основные цели и задачи, особенности содержания и организации педагогического процесса на основе компетентностного подхода; психологические особенности обучающихся, особенности педагогического взаимодействия в условиях изменяющегося образовательного пространства. ; У-ПК-12[1] - Уметь организовывать образовательно-воспитательный процесс в изменяющихся социокультурных условиях; применять психолого-педагогические знания в области общей, прикладной и фундаментальной физики.; В-ПК-12[1] - Владеть навыками преподавания специальных дисциплин в области общей, прикладной и фундаментальной физики, включая проведение лабораторных работ.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>2 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/8/0		25	КИ-8	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-12, У-ПК-12, В-ПК-12, 3-ПК-20.1, У-ПК-20.1, В-ПК-20.1, 3-ПК-22.3, У-ПК-22.3, В-ПК-22.3
2	Часть 2	9-15	7/7/0		25	КИ-15	3-ПК-

							3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3-ПК- 9, У- ПК-9, В- ПК-9, 3-ПК- 12, У- ПК- 12, В- ПК- 12, 3-ПК- 20.1, У- ПК- 20.1, В- ПК- 20.1, 3-ПК- 22.3, У- ПК- 22.3, В- ПК- 22.3
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/15/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	3, КР	3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 4, У- ПК-4,

							<p>В- ПК-4, 3-ПК- 9, У- ПК-9, В- ПК-9, 3-ПК- 12, У- ПК- 12, В- ПК- 12, 3-ПК- 20.1, У- ПК- 20.1, В- ПК- 20.1, 3-ПК- 22.3, У- ПК- 22.3, В- ПК- 22.3, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3-ПК- 9, У- ПК-9, В- ПК-9, 3-ПК- 12,</p>
--	--	--	--	--	--	--	---

							У-ПК-12, В-ПК-12, 3-ПК-20.1, У-ПК-20.1, В-ПК-20.1, 3-ПК-22.3, У-ПК-22.3, В-ПК-22.3
--	--	--	--	--	--	--	--

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет
КР	Курсовая работа

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	15	15	0
1-8	Часть 1	8	8	0
1 - 2	Тема 1. Основные свойства криогенных жидкостей. Основные свойства жидкого гелия, азота и воздуха. Температура кипения, теплота парообразования, свойства газов при нормальных условиях, тройная точка, критическая точка. Сравнение свойств криогенных жидкостей.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 5	Тема 2. Теплоприток к жидкому хладагенту. Основы теплового расчета. Теплопередача в разреженных газах. Теплоподвод к хладагенту за счет теплопроводности твердых	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0

	тел.Теплообмен излучением в системе плоскопараллельных тел, между телом и оболочкой. Теплообмен излучением в системе тел при наличии экранов. Экранно-вакуумная теплоизоляция. Комплексный тепловой расчет криогенных устройств.			
6 - 8	Тема 3. Конструктивные схемы гелиевых криостатов. Стеклоянные криостаты. Металлические гелиевые криостаты с азотным объемом. Безазотные криостаты. Криостаты непрерывного потока.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Часть 2	7	7	0
9 - 11	Тема 4. Конструктивные схемы криостатов с промежуточными температурами. Получение промежуточных температур. Диапазон температур 1 - 4.2 К. Откачка паров гелия. Маностат, схема маностатирования. Диапазон температур 4.2 - 300 К. Изменения температуры перемещением, теплообменный газ, хладопровод, термостатирование. Системы «перевернутый дьюар» и «двойной гелиевый объем». Использование азотных криостатов для получения промежуточных температур.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 14	Тема 5. Низкотемпературные гелиевые штоки. Устройство гелиевых и азотных транспортных сосудов Дьюара. Характеристики различных транспортных сосудов Дьюара. Арматурная головка. Использование транспортных сосудов Дьюара в качестве криостатов. Штоки для измерения температуры перехода, штоки с соленоидами, штоки для оптических исследований. Откачка паров азота в транспортном сосуде Дьюара.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	Тема 6. Криокулеры. Компактные криорефрижераторы. Криорефрижераторы на цикле Гиффорда-МакМагона. Пульсационные трубы. Примеры применения компактных криорефрижераторов в исследовательских криостатах.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторские занятия и самостоятельная работа студентов. Для того чтобы дать современное состояние физики низких температур, предусмотрено широкое использование современных научных работ и публикаций по данной теме, посещение лабораторий НИЯУ МИФИ. Рекомендуется посещение студентами научных семинаров и конференций, в том числе проводимых в НИЯУ МИФИ, а также в других московских университетах и институтах.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-12	З-ПК-12	З, КР, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-12	З, КР, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-12	З, КР, КИ-8, КИ-15
ПК-22.3	З-ПК-22.3	З, КР, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-22.3	З, КР, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-22.3	З, КР, КИ-8, КИ-15
ПК-3	З-ПК-3	З, КР, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3	З, КР, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3	З, КР, КИ-8, КИ-15
ПК-4	З-ПК-4	З, КР, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-4	З, КР, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-4	З, КР, КИ-8, КИ-15
ПК-9	З-ПК-9	З, КР, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-9	З, КР, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-9	З, КР, КИ-8, КИ-15
ПК-20.1	З-ПК-20.1	З, КР, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-20.1	З, КР, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-20.1	З, КР, КИ-8, КИ-15

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал,

			исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	В	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		С	
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Р 34 Тепловые процессы в технологических системах : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ Я 542 Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях : Допущено УМО вузов России по образованию в области тепло- и электроэнергетики в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Ядерная энергетика и теплофизика", Москва: МЭИ, 2019
3. ЭИ К 88 Техническая термодинамика и теплопередача : учебник для вузов, Москва: Юрайт, 2021
4. 621.5 Ш28 Вакуумная техника : учебное пособие, В. Л. Шатохин, Москва: МИФИ, 2011
5. 621.5 В29 Искусство криогеники. Низкотемпературная техника в физическом эксперименте, промышленных и аэрокосмических приложениях : , Г. Вентура, Л. Ризегари, Долгопрудный: Интеллект, 2011

6. 621.5 Р83 Основы расчета низкотемпературных устройств : учеб. пособие для вузов, И. А. Руднев, М.: МИФИ, 2006

7. 621.5 Р83 Принципы конструирования криогенных устройств : учебное пособие для вузов, И. А. Руднев, Москва: МИФИ, 2007

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.3/9 М 27 Нестационарные поля температур и напряжений в многослойных пластинах : , Москва: Издательство фонда "Сталинград", 2020

2. 536 3-81 Гелиевые криостаты для научных исследований: Основы конструирования : Учеб. пособие, Золотовская С.В., Молчанов А.С., М.: МИФИ, 1991

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

После изучения курса студент должен твердо знать свойства криогенных жидкостей, основы теплопередачи при низких температурах, основные конструкции криостатов, конструктивные элементы низкотемпературных устройств, свойства материалов при низких температурах. Студент должен уметь разрабатывать принципиальные схемы гелиевых и азотных исследовательских устройств, составлять сборочный чертеж, владеть современными методами расчета низкотемпературных устройств.

Во время лекция студент должен активно принимать участие в обсуждении тем, предлагаемых лектором, задавать уточняющие вопросы, решать предложенные качественные задачи.

В результате освоения данной дисциплины студент должен:

1) Знать: свойства криогенных жидкостей, основы теплопередачи при низких температурах, основные конструкции криостатов, конструктивные элементы низкотемпературных устройств, свойства материалов при низких температурах.

2) Уметь: разрабатывать принципиальные схемы гелиевых и азотных исследовательских устройств, составлять сборочный чертеж.

3) Владеть современными методами расчета низкотемпературных устройств.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При чтении курса следует придерживаться следующей последовательности изложения. Сначала рассматриваются основные свойства жидкого гелия, азота и воздуха. Температура кипения, теплота парообразования, свойства газов при нормальных условиях, тройная точка, критическая точка. Сравнение свойств криогенных жидкостей. Затем подробно обсуждаются теплоприток к жидкому хладагенту. Теплопередача в разреженных газах. Теплоподвод к хладагенту за счет теплопроводности твердых тел. Теплообмен излучением в системе плоскопараллельных тел, между телом и оболочкой. Теплообмен излучением в системе тел при наличии экранов. Экранно-вакуумная теплоизоляция. Комплексный тепловой расчет криогенных устройств. Особое внимание уделяется конструктивным схемам гелиевых криостатов. Стеклоквартовые криостаты. Металлические гелиевые криостаты с азотным объемом. Безазотные криостаты. Криостаты непрерывного потока. Рассматриваются конструктивные схемы криостатов с промежуточными температурами. Получение промежуточных температур. Диапазон температур 1 - 4.2 К. Откачка паров гелия. Маностат, схема маностатирования. Диапазон температур 4.2 - 300 К. Изменения температуры перемещением, теплообменный газ, хладопровод, термостатирование. Системы «перевернутый дьюар» и «двойной гелиевый объем». Использование азотных криостатов для получения промежуточных температур. Обсуждаются низкотемпературные гелиевые штоки. Заканчивается курс рассмотрением современных устройств на базе криокуллеров.

Автор(ы):

Руднев Игорь Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент

Покровский Сергей Владимирович