

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ТЕХНИКА В ФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

Направление подготовки [1] 03.04.01 Прикладные математика и физика  
(специальность)

Семестр	Трудоемкость, кредит.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практических 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	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 жидкого 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	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
--	---------------------------	---	---

<b>стандарт-ПС, анализ опыта</b>			
<b>научно-исследовательский</b>			
<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-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, полупроводников и гетероструктур.</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 26.003</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 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>Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю</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</p>	<p>З-ПК-3[1] - Знать основные методы исследований, принципы работы приборов и установок в избранной предметной области ; У-ПК-3[1] - Уметь</p>

<p>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>избранной предметной области в соответствии с целями программы специализированной подготовки магистра</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 26.003</p>	<p>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>
--	--	---	--

#### инновационный

<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: 26.003</p>	<p>З-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>
---	--	--	--

			учетом требований качества, стоимости, сроков исполнения, конкурентоспособности и безопасности жизнедеятельности
--	--	--	---

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (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-20.1, У-ПК-20.1, В-ПК-20.1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
2	Часть 2	9-15	7/7/0		25	КИ-15	В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-20.1, У-ПК-20.1, В-ПК-20.1, 3-ПК-3, У-ПК-3
<i>Итого за 2 Семестр</i>							
	<b>Контрольные мероприятия за 2 Семестр</b>				50	3, КР	3-ПК-20.1, У-ПК-20.1, В-ПК-20.1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-20.1, У-ПК-20.1, В-ПК-20.1, 3-ПК-3, У-ПК-3,

							B-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, B-ПК-4
--	--	--	--	--	--	--	---

\* – 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
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	8	8	0
1 - 2	<b>Тема 1. Основные свойства криогенных жидкостей.</b> 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 Онлайн 0	2 0	0
3 - 5	<b>Тема 2. Теплоприток к жидкому хладагенту. Основы теплового расчета.</b> 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.	Всего аудиторных часов 3 Онлайн 0	3 0	0
6 - 8	<b>Тема 3. Конструктивные схемы гелиевых криостатов.</b> Стеклянные криостаты. Металлические гелиевые криостаты с азотным объемом. Безазотные криостаты. Криостаты непрерывного потока.	Всего аудиторных часов 3 Онлайн 0	3 0	0
<b>9-15</b>	<b>Часть 2</b>	7	7	0
9 - 11	<b>Тема 4. Конструктивные схемы криостатов с промежуточными температурами.</b> 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, терmostатирование. Системы «перевернутый дьюар» и «двойной гелиевый объем». Использование азотных криостатов для получения	Всего аудиторных часов 3 Онлайн 0	3 0	0

	промежуточных температур.			
12 - 14	<b>Тема 5. Низкотемпературные гелиевые штоки.</b> 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	<b>Тема 6. Криокулеры.</b> 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 аудиторные 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-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	3, КР, КИ-8, КИ-15
ПК-3	3-ПК-3	3, КР, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3	3, КР, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3	3, КР, КИ-8, КИ-15
ПК-4	3-ПК-4	3, КР, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-4	3, КР, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-4	3, 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-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«Зачтено»	A
85-89			B
75-84	4 – «хорошо»		C
70-74			D
65-69			E
60-64	3 – «удовлетворительно»		
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«Не зачтено»	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки,

не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 621.5 Ш28 Вакуумная техника : учебное пособие, Шатохин В.Л., Москва: МИФИ, 2011
2. 621.5 В29 Искусство криогеники. Низкотемпературная техника в физическом эксперименте, промышленных и аэрокосмических приложениях : , Ризегари Л., Вентура Г., Долгопрудный: Интеллект, 2011
3. 621.5 Р83 Основы расчета низкотемпературных устройств : учеб. пособие для вузов, Руднев И.А., М.: МИФИ, 2006
4. 621.5 Р83 Принципы конструирования криогенных устройств : учебное пособие для вузов, Руднев И.А., Москва: МИФИ, 2007
5. ЭИ Р 34 Тепловые процессы в технологических системах : учебное пособие, Резников Л. А., Резников А. Н., Санкт-Петербург: Лань, 2022
6. 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", Ягов В.В., Москва: МЭИ, 2019
7. ЭИ К 88 Техническая термодинамика и теплопередача : учебник для вузов, Кудинов В. А., Москва: Юрайт, 2021

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 536 З-81 Гелиевые криостаты для научных исследований: Основы конструирования : Учеб. пособие, Молчанов А.С., Золотовская С.В., М.: МИФИ, 1991
2. 539.3/.9 М 27 Нестационарные поля температур и напряжений в многослойных пластинах : , Маркочев В.М., Москва: Издательство фонда "Сталинград", 2020

### **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. Стеклянные 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