

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Техника и физика низких температур

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная


**Рабочая программа дисциплины**  
**НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.11</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>8 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>8 семестр - 14 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>8 семестр - 14 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>8 семестр - 14 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>8 семестр - 65,7 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Лабораторная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>8 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Бухаров А.В.
	Идентификатор	R2a4c31b9-BukharovAV-f1e45d71

А.В. Бухаров


**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Крюков А.П.
	Идентификатор	R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed

А.П. Крюков

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

Ю.Ю. Пузина

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение проблем и техники проведения низкотемпературного эксперимента для последующего использования: при конструировании криогенных систем, эксплуатации криогенных систем и проведения экспериментальных исследований

### Задачи дисциплины

- изучение проблем и техники проведения низкотемпературного эксперимента;
- изучение проблем низкотемпературной термометрии: стандартов низкотемпературных измерений, датчиков измерения температуры, особенностей измерения давления при криотемпературах, особенностей измерения расхода однофазных и двухфазных потоков при криотемпературах;
- Получение практических навыков в конкретных технических решениях при конструировании криогенных систем, эксплуатации криогенных систем и проведении экспериментальных исследований;
- получение навыков работы с информационной базой.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-3 Готов к расчетно-экспериментальному анализу особенностей низкотемпературных процессов	ИД-3ПК-3 Владеет экспериментальными методами исследования низкотемпературных процессов	знать: - формулировку требований к экспериментальному оборудованию для различных задач низкотемпературной техники; - методику решения задач, возникающих при экспериментальном исследовании работы низкотемпературных установок.  уметь: - определять корректность выбранного оборудования задачам определения параметров работы низкотемпературных установок; - использовать выбранные методы и оборудование к конкретным задачам низкотемпературной техники.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Техника и физика низких температур (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Основы дисциплин "Экспериментальные методы исследования", " Физика"
- уметь навыки, полученные во время учебно-производственной практики

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.



### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Техника низкотемпературного эксперимента.	48	8	8	8	8	-	-	-	-	-	24	-	<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [3], 11-429 [4], 3-277 [6], 3-70 [7], 2-110 [8], 2-73	
1.1	Основные устройства, используемые в низкотемпературном эксперименте.	24		4	4	4	-	-	-	-	-	12	-		
1.2	Металлические термометры.	24		4	4	4	-	-	-	-	-	12	-		
2	Измерение низких температур.	42		6	6	6	-	-	-	-	-	24	-	<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [1], 7-275 [2], 8-250 [5], 5-255	
2.1	Особенности измерения низких температур.	24		4	4	4	-	-	-	-	-	12	-		
2.2	Градуирование устройств измерения температуры.	18		2	2	2	-	-	-	-	-	12	-		
	Зачет с оценкой	18.0		-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>		<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	-	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>48</b>	<b>17.7</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	-	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>65.7</b>			

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПР – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### 1. Техника низкотемпературного эксперимента.

1.1. Основные устройства, используемые в низкотемпературном эксперименте.

Низкотемпературная термометрия.. Стандартизация низкотемпературных измерений, государственные первичные эталоны единицы температуры в интервале от 1,5 до 273,15К.. Особенности реализации реперных точек шкалы МПТШ-68 методом конденсационного термометра..

1.2. Металлические термометры.

Особенности выбора материала.. Термометры с магнитными примесями чувствительного элемента.. Полупроводниковые термометры сопротивления..

#### 2. Измерение низких температур.

2.1. Особенности измерения низких температур.

Измерение низких температур термопарами.. Регулирование температуры.. Неметаллические термометры: особенности выбора материала..

2.2. Градуирование устройств измерения температуры.

Градуирование термометров сопротивления и термопар.. Погрешности определения температуры..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Низкотемпературная термометрия. Стандартизация низкотемпературных измерений Особенности реализации реперных точек шкалы МПТШ-68 (4 часа).;
2. Металлические термометры: особенности выбора материала. Полупроводниковые термо-метры сопротивления (4 часа).;
3. Особенности измерения низких температур термопарами. Неметаллические термометры: особенности выбора материала (4 часа).;
4. Градуировка термометров сопротивления и термопар. Погрешности определения температуры (2 часа)..

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Методы получения низких температур. Устройство машины Мак-Магона (4 часа).;
2. Измерение низких температур термопарами (4 часа).;
3. Измерение низких температур металлическими и полупроводниковыми термометрами. Особенности выбора материала термометра (4 часа).;
4. Измерение низких температур неметаллическими термометрами (2 часа)..

### **3.5 Консультации**

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)		Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	
<b>Знать:</b>				
методику решения задач, возникающих при экспериментальном исследовании работы низкотемпературных установок	ИД-3ПК-3	+		Лабораторная работа/Измерение низких температур термомпарами
формулировку требований к экспериментальному оборудованию для различных задач низкотемпературной техники	ИД-3ПК-3		+	Лабораторная работа/Методы получения низких температур. Устройство машины Мак-Магона Контрольная работа/Низкотемпературная термометрия
<b>Уметь:</b>				
использовать выбранные методы и оборудование к конкретным задачам низкотемпературной техники	ИД-3ПК-3		+	Лабораторная работа/Измерение низких температур неметаллическими термометрами
определять корректность выбранного оборудования задачам определения параметров работы низкотемпературных установок	ИД-3ПК-3	+		Лабораторная работа/Измерение низких температур металлическими и полупроводниковыми термометрами. Особенности выбора материала термометра Контрольная работа/Металлические и полупроводниковые термометры. Неметаллические термометры (особенности выбора материала)

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**8 семестр**

Форма реализации: Выполнение задания

1. Измерение низких температур металлическими и полупроводниковыми термометрами. Особенности выбора материала термометра (Лабораторная работа)
2. Измерение низких температур неметаллическими термометрами (Лабораторная работа)
3. Измерение низких температур термопарами (Лабораторная работа)
4. Методы получения низких температур. Устройство машины Мак-Магона (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Металлические и полупроводниковые термометры. Неметаллические термометры (особенности выбора материала) (Контрольная работа)
2. Низкотемпературная термометрия (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №8)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Орлова, М. П. Низкотемпературная термометрия : учебное пособие для вузов / М. П. Орлова, О. Ф. Погорелова, С. А. Улыбин . – М. : Энергоатомиздат, 1987 . – 280 с.;
2. Теплофизические измерения и приборы / Е. С. Платунов, [и др.] ; общ. ред. Е. С. Платунов . – Л. : Машиностроение, 1986 . – 255 с.;
3. Справочник по физико-техническим основам криогеники / М. П. Малков, и др. – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергоатомиздат, 1985 . – 432 с.;
4. Розанов, Л. Н. Вакуумная техника : учебник для вузов по специальности "Электронное машиностроение" / Л. Н. Розанов . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Высшая школа, 1990 . – 320 с. - ISBN 5-06-000479-1 .;
5. Рогельберг, И. Л. Сплавы для термопар : справочник / И. Л. Рогельберг, В. М. Бейлин . – М. : Металлургия, 1983 . – 360 с.;
6. А. Г. Баннов, М. В. Попов- "Инструментальные методы анализа: термический анализ и низкотемпературная адсорбция азота", Издательство: "Новосибирский государственный технический университет", Новосибирск, 2019 - (72 с.)  
[https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=576128;](https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=576128)



7. А. В. Зиновьева, Г. И. Чернов, В. К. Васильев, В. Л. Юша- "Вакуумная техника в технологических и низкотемпературных установках", Издательство: "Омский государственный технический университет (ОмГТУ)", Омск, 2019 - (112 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=682145>;
8. Неверов Е. Н., Иваненко О. В.- "Приборы и техника измерений, математическое моделирование установок низкотемпературной техники.", Издательство: "КемГУ", Кемерово, 2013 - (75 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=45633](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=45633).

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

## 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" -  
[http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
9. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
10. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» -  
<https://uisrussia.msu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	М-411/1, Компьютерный класс	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	М-411/1, Компьютерный класс	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	М-408, Аудитория каф. "НТ"	стеллаж для хранения инвентаря, стол
	М-401, Учебная	стол, стул, лабораторный стенд

	лаборатория криогенных систем	
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	М-411/1, Компьютерный класс	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	М-411/1, Компьютерный класс	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Помещения для консультирования	М-402, Аудитория каф. "НТ"	стеллаж для хранения книг, стул, стол письменный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	М-407/1, Кладовая	стеллаж для хранения инвентаря, стеллаж для хранения книг, инвентарь специализированный

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Низкотемпературный эксперимент

(название дисциплины)

#### 8 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Низкотемпературная термометрия (Контрольная работа)
- КМ-2 Методы получения низких температур. Устройство машины Мак-Магона (Лабораторная работа)
- КМ-3 Измерение низких температур термопарами (Лабораторная работа)
- КМ-4 Металлические и полупроводниковые термометры. Неметаллические термометры (особенности выбора материала) (Контрольная работа)
- КМ-5 Измерение низких температур металлическими и полупроводниковыми термометрами. Особенности выбора материала термометра (Лабораторная работа)
- КМ-6 Измерение низких температур нематаллическими термометрами (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	4	4	8	12	12	14
1	Техника низкотемпературного эксперимента.							
1.1	Основные устройства, используемые в низкотемпературном эксперименте.				+			
1.2	Металлические термометры.					+	+	
2	Измерение низких температур.							
2.1	Особенности измерения низких температур.		+	+				
2.2	Градуирование устройств измерения температуры.							+
Вес КМ, %:			10	10	30	15	15	20