

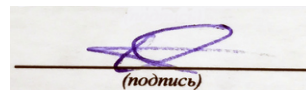
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра микроэлектроники и общей физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины  
«Основы теплофизики»**

Направление подготовки  
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль)  
«Интегральная электроника и наноэлектроника»

Форма обучения  
очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры  
от «17» апреля 2023 года, протокол № 5

Программа одобрена НМК  
физического факультета  
протокол № 5 от « 25 » апреля 2023года

Ярославль

### 1. Цели освоения дисциплины «Основы теплофизики»

Описать процессы переноса импульса и тепловой энергии в подвижных средах и твердом теле. Обучить постановке и математическим методам решения задач теплопереноса в твёрдом теле с учётом конвекции окружающей среды и лучистых потоков энергии. Познакомить с техникой теплофизического эксперимента, методикой обработки опытных данных в системе MathCAD.

### 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Основы теплофизики» относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, и является дисциплиной по выбору. Она рассматривает разные явления теплопереноса: развивает аналитические способности учащихся, навыки решения расчетных и экспериментальных задач в данной предметной области, служит основой для получения знаний о теплофизических свойствах тел.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных студентами при изучении общего курса физики (предметы «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество», «Оптика»), и навыках, приобретённых в общем физическом практикуме. Для её освоения требуется также математическая подготовка по предметам: «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Методы математической физики».

Дисциплина «Основы теплофизики» следует за изучением таких предметов как «Физика конденсированного состояния», «Термодинамика и статистическая физика», «Статистическая обработка экспериментальных данных». Её знания применяются при выполнении курсовых и выпускных работ.

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП бакалавриата.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		
<b>ПК-1</b> Способен - строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, - а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования.	<b>ИД_ПК-1.1</b> Умеет строить физические и математические модели процессов, приборов, блоков в области электроники и нанoeлектроники.	<b>Знает:</b> – основные уравнения переноса тепловой энергии и импульса в подвижных средах и твердом теле, – постановку теплофизических задач.  <b>Умеет:</b> – составлять уравнения теплового баланса, – применять признаки и общие условия подобия для создания моделей физических явлений и планирования эксперимента, – применять метод анализа размерностей.
	<b>ИД_ПК-1.2</b> Обладает навыками компьютерного моделирования.	<b>Владеет:</b> – методикой и техникой теплофизического эксперимента, – специальными компьютерными пакетами обработки опытных данных.

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 72 часов, 2 зачетных единицы.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			Лекции	практические	Лабораторные	Консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Введение в предмет	7	1		1			2	
2	Основы калориметрии	7	2		4	1		6	Лабораторное задание 1
3	Уравнения термомеханики сплошных сред	7	2			1		4	
4	Задачи теории теплопроводности	7	6		4	1		6	Лабораторное задание 2
5	Основы теории подобия	7	2		4			6	Лабораторное задание 3
6	Метод анализа размерностей	7	2			1		4	
7	Лучистый теплообмен	7	2		4	1		4,7	Лабораторное задание 4
							0,3		Зачёт
	Всего		17		17	5	0,3	32,7	72

#### Содержание разделов дисциплины:

1. Введение в предмет. Теплофизические характеристики веществ. Общие сведения о методах и приборах для их измерения.
2. Основы калориметрии. Уравнение теплового баланса. Адиабатический метод. Основы измерения теплоёмкости методом монотонного нагрева и охлаждения.
3. Уравнения термомеханики сплошных сред. Уравнение сплошности. Уравнение переноса импульса. Уравнение переноса тепловой энергии. Феноменологические законы теплопроводности и вязкости. Общая постановка задач.
4. Задачи теории теплопроводности. Задача о нагреве тонких нитей в газе и вакууме. Задача о нагреве пластины поверхностным источником тепла. Применение термических зондов с тепловыделяющей дорожкой конечной ширины для определения теплофизических параметров пластин и поверхностных слоёв. Стационарный и нестационарный тепловой режим.
5. Основы теории подобия. Метод обобщенных переменных. Понятие о физическом подобии (признаки подобия). Пример пересчета результатов эксперимента с модели на реальный объект. Общие условия подобия.
6. Метод анализа размерностей. Основная теорема. Задача о движении вязкой жидкости в трубе: ламинарный и турбулентный случаи. Выражения для коэффициентов трения и теплоотдачи на пластине в потоке жидкости.

7. Лучистый теплообмен. Характеристики теплового излучения. Виды лучистых потоков. Законы теплового излучения. Оптические методы измерения высоких температур.

## **5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Учебный процесс сочетает лекционные и лабораторные занятия, которые выполняются на базе имеющихся экспериментальных установок с применением компьютерных программ обработки результатов измерений. На лекционных занятиях отслеживается ведение конспектов лекций. Ведётся учёт выданных заданий, контроль посещаемости. Зачёт проставляется по совокупности выполненных лабораторных работ и решённых задач в ходе собеседования по предмету.

Учитывая сравнительно небольшое количество лекционных часов, значительная часть теоретического материала выносится на самостоятельное изучение по приведённому ниже списку литературы. Упор делается на практическую составляющую предмета, основательно представленную в оригинальном лабораторном практикуме.

## **6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем**

Информация по содержанию предмета выкладывается на платформе Moodle ЯрГУ в 7-м семестре в соответствующем курсе. Там в виде файлов выложены описания лабораторных работ, научные статьи и другие материалы по темам предмета, открыты папки для сдачи отчётов по выполненным лабораторным работам. Платформа Moodle используется в качестве доски объявлений и как организующее начало в учебном процессе. При дистанционном обучении лекции ведутся в Zoom`е, обсуждение и сдача выданных заданий (лабораторных работ) в Скайпе.

Из других технических средств в учебном процессе используются:

- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ – Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" [http://www.lib.uniyl.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyl.ac.ru/opac/bk_cat_find.php);
- для формирования текстов материалов для промежуточной и конечной аттестации – программы Microsoft Office;
- для обработки данных измерений *MathCad 2001 portable*.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Митрофанов В.А. Основы механики сплошных сред. Ярославль, 1981.
2. Митрофанов В.А. Теплофизика: практикум / Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2017. – 40 с.
3. Митрофанов В.А. Лабораторные работы по молекулярной физике. Часть 2: методические указания / Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2014. – 84 с.
4. Теоретические и практические основы теплофизических измерений / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, А. Г. Дивин, В. А. Ветроградский, А. А. Чуриков; под ред. С.В. Пономарева. - М.: Физматлит, 2008. - 404 с.

### **б) дополнительная:**

1. Лойцанский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Дрофа, 2003, 840 с.
2. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. Справочное пособие. - М.: Энергоиздат, 1990.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергоиздат, 1981.
4. Теория тепломассообмена. Под ред. Леонтьева А.И. - М.: Высшая школа, 1979.
5. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача. - М.: Высшая школа, 1988.

6. Кушнырев В.И., Лебедев В.И., Павленко В.А. Техническая термодинамика и теплопередача. - М.: Стройиздат, 1986.
7. Лыков А.В. Теплообмен. Справочник. - М.: Энергия, 1978.
8. Мирошниченко В.И., Махров В.В. Методы и средства оптической пирометрии: Учеб. пособие. - М.: Изд-во МЭИ, 2004.

#### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает:

- учебную аудиторию для проведения занятий лекционного типа;
- лабораторию молекулярной физики, где поставлен теплофизический практикум.

Автор: доцент кафедры микроэлектроники  
и общей физики, канд.физ.-мат.наук

В.А. Митрофанов

### **Приложение №1**

#### **к рабочей программе дисциплины «Основы теплофизики»**

#### **Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов по дисциплине**

##### **1. Типовые контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

В ходе выполнения лабораторных работ по нижеследующему списку студенты отвечают на содержащиеся в их описаниях контрольные вопросы. Их можно найти в практикумах [2], [3] списка а) основной литературы.

##### **Список лабораторных работ**

1. Изучение законов гидродинамического сопротивления в каналах.
2. Измерение теплоёмкости твёрдых тел методом регулярного теплового режима.
3. Изучение фазовых превращений бинарной смеси: олово – свинец.
4. Исследование процессов теплопереноса в газе методом нагретой нити.
5. Изучение калорических свойств металла в условиях импульсного нагрева.
6. Исследование излучательной способности нитей накаливания с помощью оптического пирометра.

##### **2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной и окончательной аттестации**

При сдаче (защите отчётов) персонально выданных лабораторных работ помимо контрольных вопросов из практикумов [2], [3] списка а) основной литературы студентам задаются вопросы, касающиеся физики исследуемых явлений, организации самого эксперимента и методов обработки данных измерений. Тем самым проверяется сформированность компетенции ПК-1 по индикатору ИД\_ПК-1.2 в расшифровке автора

программы «**Владеет** методикой и техникой теплофизического эксперимента, специальными компьютерными пакетами обработки опытных данных».

На зачете (список его вопросов даётся ниже) проверяется сформированность компетенции ПК-1 по индикатору ИД\_ПК-1.1 в расшифровке автора программы «**Знает** основные уравнения переноса тепловой энергии и импульса в подвижных средах и твердом теле, постановку теплофизических задач» и «**Умеет** составлять уравнения теплового баланса, применять признаки и общие условия подобия для создания моделей физических явлений и планирования эксперимента, применять метод анализа размерностей».

#### **Список вопросов к зачёту:**

1. Закон теплопроводности Фурье. Определение коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи. Понятие термического сопротивления.
2. Уравнение сплошности. Смысл индивидуальной производной.
3. Уравнение переноса импульса. Смысл компонент тензора напряжений и тензора скоростей деформаций.
4. Уравнение переноса тепловой энергии. Уравнение теплопроводности.
5. Признаки физического подобия. Правило пересчета результатов эксперимента с модели на реальный объект.
6. Общие условия подобия физических явлений. Пример критериального уравнения подобия.
7. Основная теорема метода анализа размерностей. Примеры применения метода.
8. Уравнение теплового баланса. Калориметрические методы.
9. Стационарные и нестационарные методы определения коэффициента теплопроводности.
10. Характеристики теплового излучения и его законы.

Зачёт проставляется при условиях выполнения четырёх лабораторных работ и защиты отчётов по ним. Дополнительно производится опрос по указанному списку вопросов.

## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Основы теплофизики»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Не следует пропускать лекций без уважительных причин. Их конспект следует вести, чтобы понимать логику построения курса в его взаимосвязях. Не надеяться на то, что потом (перед зачётом) всё можно будет прочесть. Здесь важна регулярность занятий. Полезно сразу сверять лекционный материал с содержанием соответствующих глав учебников, как бы этого не хотелось делать. Не следует также копить долги по практикуму: выполнению лабораторных заданий и защите их результатов.

Общие требования и рекомендации по выполнению лабораторных работ и оформлению отчётов сформулированы на стенде лаборатории молекулярной физике, где и организован теплофизический практикум.