

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Костромской государственный университет»
(КГУ)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕПЛОФИЗИКИ

Направление подготовки 03.03.02–Физика

Направленность: Физика

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Кострома

Рабочая программа дисциплины «Элементы теплофизики» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования направления подготовки 03.03.02–Физика, утвержден 07.08.2020 г., приказ № 891

Разработал: Шадрин Сергей Юрьевич, заведующий кафедрой общей и общей и теоретической физики

Рецензент: Дьяков Илья Геннадьевич, доцент кафедры общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

УТВЕРЖДЕНО:

Заведующий кафедрой общей и теоретической физики

Шадрин Сергей Юрьевич, заведующий кафедрой общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Основной целью данного курса является подготовка бакалавров физики к научно-исследовательской деятельности в научно-исследовательских институтах, лабораториях, конструкторских или проектных бюро, на предприятиях путем формирования соответствующих компетенций.

В результате изучения учебной дисциплины «Элементы теплофизики» у обучаемых должна сформироваться общепрофессиональная компетенция:

способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные (ОПК-2);

Задачи дисциплины:

– освоить приемы расчета динамики температурного поля твердых тел при различных вариантах тепловых нагрузок на границах тела и распределенных внутренних источниках теплоты.

– изучить методы физического описания теплообмена при движении сплошной среды и фазовых превращениях вещества.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

В результате изучения дисциплины «Элементы теплофизики» обучаемые должны

Освоить компетенцию:

ОПК-2: способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

Код и содержание индикаторов компетенции

ОПК-2.1. Выполняет научные исследования физических объектов, систем и процессов на основе фундаментальных физических законов

ОПК-2.3. Осуществляет обработку, анализ и обобщение результатов физических экспериментов.

знать

– уравнение теплопроводности и энергии, границы их применимости и особенности использования, термические характеристики твердых тел и критерии подобия;

– специфику динамики температурного поля в твердых телах при наличии распределенных внутренних источников теплоты и конвективного теплообмена на границе;

– особенности теплообмена при фазовых превращениях вещества..

уметь

– вычислять распределение температуры и термические характеристики по температурному полю в твердых телах;

– находить взаимосвязь между тепловым воздействием на изучаемый объект и откликом системы на данное воздействие в виде изменения температурного поля вещества;

владеть

– методами использования особенностей динамики температурного поля в твердых телах для расчета различных коэффициентов переноса;

– навыками и приемами расчета динамики температурного поля твердых тел при различных вариантах тепловых нагрузок на границах тела и распределенных внутренних источниках теплоты.

– способами расчета тепловых нагрузок при фазовых превращениях вещества.

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Дисциплина «Элементы теплофизики» изучается в шестом семестре и относится к базовой части образовательной программы подготовки бакалавров физики. Содержание дисциплины охватывает основные понятия теории теплообмена, способы описания процессов переноса теплоты в твердых телах и сплошных средах, закономерности температурного поля в твердых телах и сплошных средах при различных условиях на границах тела или среды, методы управления температурным полем с помощью внешних условий. Изучаемый материал подобран в соответствии с научным направлением кафедры общей и теоретической физики КГУ. Основные научно-исследовательские работы посвящены изучению явления анодного нагрева в водных электролитах, которое может быть рассмотрено как аналог пленочного кипения. Необходимость учета теплофизических особенностей данного процесса при его применении для термической обработки металлов и сплавов настоятельно требуют включения теплофизических дисциплин в образовательную программу подготовки бакалавров физиков.

Перед изучением дисциплины «Элементы теплофизики» обучающийся должен иметь представления о молекулярно-кинетической теории строения вещества, явлениях переноса теплоты, кинетических соотношениях для коэффициентов переноса, уметь использовать соответствующие уравнения математической физики, описывающих явления теплопереноса. Требуемые знания, умения и навыки формируются в рамках дисциплин «Молекулярная физики», «Общий физический практикум», «Уравнения математической физики».

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для прохождения производственной (преддипломной) практики, написания выпускной квалификационной работы.

Формирование общепрофессиональной компетенции ОПК-2 происходит также на других профильных дисциплинах, раскрывая их единство и взаимосвязь.

4. Объем дисциплины (модуля)

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием академических (астрономических) часов и виды учебной работы

Виды учебной работы,	Очная форма
Общая трудоемкость в зачетных единицах	3
Общая трудоемкость в часах	108
Аудиторные занятия в часах, в том числе:	98
Лекции	38
Практические занятия	60
Лабораторные занятия	–
Самостоятельная работа в часах	10
Форма промежуточной аттестации	Зачет 6 семестр

4.2. Объем контактной работы на 1 обучающегося

Виды учебных занятий	Очная форма
Лекции	38
Практические занятия	60
Лабораторные занятий	–
Консультации	–
Зачет/зачеты	0,25
Экзамен/экзамены	–

Курсовые работы	–
Курсовые проекты	–
Всего	98,25

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием количества часов и видов занятий

5.1 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела, темы	Всего з.е/час	Аудиторные занятия			Самостоятельная работа
			Лекц.	Практ.	Лаб.	
1	Основные понятия теплообмена	12	4	8	–	–
2	Уравнения переноса теплоты	14	4	8	–	2
3	Метод обобщенных переменных	14	6	8	–	–
4	Теплопроводность при стационарном режиме	16	6	8	–	2
5	Теплопроводность при нестационарном режиме	16	6	8	–	2
6	Конвективный теплообмен	18	6	10		2
7	Теплообмен при кипении жидкости	18	6	10		2
	Итого:	108	38	60	–	10

5.2. Содержание:

ТЕМА 1. Основные понятия теплообмена. Способы передачи теплоты. Виды теплообмена. Закон Био-Фурье. Теплопроводность веществ, изотропные и анизотропные вещества. Закон Ньютона Коэффициент теплоотдачи.

ТЕМА 2. Уравнения переноса теплоты. Уравнение сохранения энергии. Дифференциальное уравнение переноса теплоты. Уравнение теплопроводности. Условия однозначности, начальные и краевые условия.

ТЕМА 3. Метод обобщенных переменных. Основы теории подобия. Подобные процессы. Моделирование и анализ размерностей. Критерии и числа подобия. Определяющие и неопределяющие критерии. Правило Гухмана-Кирпичева.

ТЕМА 4. Теплопроводность при стационарном режиме. Уравнение теплопроводности для стационарного теплообмена с одномерным распределением температуры (плоские, цилиндрические и сферические стенки). Первый интеграл – плотность теплового потока. Термическое сопротивление, последовательное и параллельное соединение термических сопротивлений. Нелинейные задачи, преобразование Кирхгофа. Теплопроводность вдоль стержня постоянного поперечного сечения, в прямом трапециевидном ребре, плоском круглом ребре. Оребренные поверхности, прямое ребро постоянного теплового напряжения. Критерий эффективности оребрения.

ТЕМА 5. Теплопроводность при нестационарном режиме в телах простой

геометрической формы. Уравнение теплопроводности для нестационарного теплообмена с одномерным распределением температуры. Методы решения уравнений в частных производных. Нагрев и охлаждение различных тел (полуограниченное тело, неограниченная плоская стенка, цилиндр, шар). Определение расхода теплоты. Регулярный тепловой режим. Методы определения теплофизических характеристик (коэффициент теплопроводности, температуропроводности).

ТЕМА 6. Конвективный теплообмен. Гидродинамический и тепловой пограничный слой. Уравнения скоростного и теплового пограничного слоев. Теплообмен при внешнем обтекании тел, приближение Блазиуса.

ТЕМА 7. Теплообмен при кипении жидкости. Виды кипения. Кривая кипения. Кризис теплоотдачи при кипении, критические плотности теплового потока. Первый и второй кризис кипения. Гидродинамическая природа кризисов в механизме кипения жидкости. Теплоотдача при пузырьковом кипении в большом объеме. Теплоотдача при пленочном кипении.

6. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

Предметом теории теплообмена являются процессы переноса тепла из одной части пространства в другую. Значимость процесса теплообмена как в природе, так и в технике определяется тем, что свойства тел самым существенным образом зависят от температуры, то есть от их теплового состояния. Последнее же, в свою очередь, определяется условиями теплообмена, которые поэтому оказывают решающее влияние на процессы изменения агрегатного состояния вещества, на течение химических реакций (в частности, процесс горения), механические, электроизоляционные, магнитные и другие свойства тел.

Процессы переноса тепла являются одним из основных разделов современной науки и имеют большое практическое значение в станционной и промышленной энергетике, в технологических процессах химической, строительной, легкой и других отраслей промышленности. Например, расчет тепловых аппаратов, работающих при нестационарном режиме, расчет ограждающих конструкций в условиях переменных тепловых воздействий (теплоизоляция зданий, печей, трубопроводов), нагревание машин, температурные напряжения в мостах и многие другие вопросы связаны с решением задач нестационарной теплопроводности. Исследование кинетики процессов сорбции, сушки, горения и других химико-технологических процессов связано с решением задач диффузии, которые аналогичны задачам нестационарной теплопроводности. Особое значение приобретают вопросы нестационарного теплообмена в реактивной и ракетной технике, где тепловая аппаратура работает в условиях нестационарного режима.

Именно этими обстоятельствами и объясняется бурное развитие теории теплообмена в 20 веке и то исключительное внимание, которое ей уделяется в физике планетарных процессов, энергетике, химической технологии и в ряде других отраслей науки и техники. Наука о теплообмене имеет давнюю историю. Ее начало восходит к работам М. В. Ломоносова. Основы теории теплообмена были заложены в 19 веке трудами ученых многих стран. В связи с практическими потребностями ее интенсивное развитие началось в начале 20 века и продолжается в настоящее время.

Сложность явлений теплообмена приводит к тому, что многие практически важные задачи не могут быть решены аналитическими методами. Тогда прибегают к численным методам с их реализацией на мощных быстродействующих компьютерах.

Наряду с теорией важную роль в изучении процессов теплообмена играет эксперимент, с помощью которого проверяют гипотезы и результаты теории, а также получают информацию о механизме явлений. В ряде случаев только опытным путем можно получить формулы, необходимые для расчетов теплообменных аппаратов, широко распространенных во многих отраслях промышленности.

Дисциплина «Элементы теплофизики» включена в обязательную часть программы подготовки бакалавра физики и изучается на 3 курсе. По данной дисциплине читаются

лекции, на которых излагается основной теоретический материал, и проводятся практические занятия для закрепления полученных знаний путем решения соответствующих задач. Основной целью изучения данного предмета является расширение кругозора студентов в области применения фундаментальных теоретических знаний о природных процессах для описания используемых на практике различных технических систем.

Изложение нового материала на лекциях проводится в привычном режиме: принимаются какие-либо допущения, на базе допущений строится некоторая модель, которая далее записывается с помощью дифференциальных уравнений, решение соответствующих уравнений позволяет определить температурное поле в изучаемой системе. На семинарах гораздо чаще используется «инженерный подход» – по готовым закономерностям или шаблонным формулам и таблицам определяют интересующие нас величины. Таким образом, практические занятия гораздо легче таковых по курсу общей физики, где в каждой задаче требуется творческий подход. Другое дело, что сам предмет изучения – температурное поле – несколько непривычен.

6.1. Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Задание	Часы	Методические рекомендации по выполнению задания	Форма контроля
1	Уравнения переноса теплоты	Решение индивидуальных заданий	2	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебно-методическим пособием [3] из списка основной литературы	Письменный опрос
2	Теплопроводность при стационарном режиме	Решение индивидуальных заданий	2	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебно-методическим пособием [3] из списка основной литературы	Защита практического расчета
3	Теплопроводность при нестационарном режиме	Решение индивидуальных заданий	2	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебно-методическим пособием [3] из списка основной литературы	Защита практического расчета
4	Конвективный теплообмен	Решение индивидуальных заданий	2	Для подготовки к решению индивидуальных заданий	Защита практического расчета

				рекомендуется пользоваться учебно-методическим пособием [3] из списка основной литературы	
5	Теплообмен при кипении жидкости	Решение индивидуальных заданий	2	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебно-методическим пособием [4] из списка основной литературы	Защита практического расчета

6.2. Тематика и задания для практических занятий

Формой отчетности по данной дисциплине является зачет. Необходимые условия допуска к зачету:

- Наличие полного конспекта лекций
- Сдача всех контрольных работ (3 шт) с положительным результатом

Ниже приведены примерные планы практических занятий. Номера задач даны по задачнику Белкин П. Н., Шадрин С. Ю. «Теплофизика: сборник задач» 2013 года издания.

Тема: Теплопроводность при стационарном режиме. Пластина

Задачи для разбора с преподавателем: 1.2, 1.3, 1.16, 1.11 1.9, 1.29

Задачи для самостоятельной работы: 1.1, 1.4, 1.7, 1.8, 1.12, 1.17, 1.22, 1.24, 1.31

Обсуждаемые вопросы: основные понятия и определения теплообмена, тепловой поток, плотность теплового потока, коэффициент теплопроводности, зависимость коэффициента теплопроводности от температуры, коэффициент температуропроводности, коэффициент конвективной теплоотдачи, термическое сопротивление, стационарное уравнение теплопроводности, граничные условия, число Био, распределение температуры, нелинейное стационарное уравнение теплопроводности, преобразование Кирхгофа, средний коэффициент теплопроводности.

Тема: Теплопроводность при стационарном режиме. Цилиндр, шар

Задачи для разбора с преподавателем: 1.33, 1.35, 1.42, 1.52

Задачи для самостоятельной работы: 1.34, 1.36, 1.38, 1.39, 1.41, 1.45, 1.47, 1.53

Обсуждаемые вопросы: криволинейные системы координат, стационарное уравнение теплопроводности в цилиндрической и сферической системах координат, граничные условия, число Био, критический и эффективный диаметр изоляции, нелинейное стационарное уравнение теплопроводности в криволинейных системах координат, преобразование Кирхгофа, средний коэффициент теплопроводности.

Тема: Теплообмен с оребренной поверхностью

Задачи для разбора с преподавателем: 1.55, 1.58, 1.60, 1.61

Задачи для самостоятельной работы: 1.54, 1.56, 1.57, 1.59

Обсуждаемые вопросы: особенности теплообмена тонкого ребра постоянного и переменного сечения, стационарное уравнение теплопроводности с учетом теплообмена на поверхности (сток тепла), гиперболические функции, число Био, коэффициент эффективности ребра.

Тема: Теплопроводность при нестационарном режиме. Полу бесконечное тело. Пластина

Задачи для разбора с преподавателем: 2.2, 2.4, 2.11, 2.5, 2.16, 2.35

Задачи для самостоятельного решения: 2.1, 2.3, 2.7, 2.14, 2.10, 2.13, 2.15, 2.18.

Обсуждаемые вопросы: особенности нестационарного теплообмена, коэффициент температуропроводности, число Фурье, нестационарное уравнение теплопроводности, методы решения уравнений в частных производных, граничные условия, число Био, сходимость функциональных рядов, нестационарное распределение температуры, интеграл ошибок, дополнительная функция ошибок, средняя температура.

Тема: Теплопроводность при нестационарном режиме. Цилиндр, шар

Задачи для разбора с преподавателем: 2.22, 2.29, 2.39, 2.41, 2.37

Задачи для самостоятельной работы: 2.20, 2.23, 2.24, 2.26, 2.28, 2.33, 2.34, 2.40, 2.42

Обсуждаемые вопросы: криволинейные системы координат, нестационарное уравнение теплопроводности в криволинейных системах координат, граничные условия, число Био, специальные функции, функции Бесселя, сферические функции, трансцендентные уравнения, особенности распределения температуры, средняя температура.

Тема: Регулярный режим теплообмена

Задачи для разбора с преподавателем: 2.43, 2.46, 2.49, 2.50, 2.51

Задачи для самостоятельного решения: 2.45, 2.48, 2.52

Обсуждаемые вопросы: три стадии нестационарного процесса теплообмена, автомодельные решения нестационарного уравнения теплопроводности, темп нагрева (охлаждения), прямые и обратные задачи теории теплопроводности, методы определения коэффициента конвективной теплоотдачи и коэффициента температуропроводности методами регулярного режима.

Тема: Конвективный теплообмен

Обсуждаемые вопросы: Гидродинамический и тепловой пограничный слой. Уравнения скоростного и теплового пограничного слоев. Интегральные уравнения скоростного пограничного слоя. Интегральные уравнения теплового пограничного слоя. Теплообмен при внешнем обтекании тел, приближение Блазиуса. Критериальные уравнения.

Тема: Теплообмен при кипении жидкости

Задачи для разбора с преподавателем: 3.4, 3.9, 3.14, 3.19, 3.20

Задачи для самостоятельного решения: 3.3, 3.7, 3.18

Обсуждаемые вопросы: кривая кипения, критериальные уравнения, первый и второй критический тепловой поток, теплообмен при пузырьковом кипении в большом объеме, кризисный характер перехода от одного режима кипения к другому, явление гистерезиса при кипении, второй критический тепловой поток, коэффициент теплоотдачи при пленочном кипении для различных условий.

7. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

а) основная

1. Цветков Ф. Ф. Тепломассообмен: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательство МЭИ, 2006. – 550 с. ил. (30 экз)

2. Белкин П. Н., Шадрин С.Ю. Теплофизика: Сборник задач. – Кострома: ГОУ ВПО КГУ им. Н. А. Некрасова, 2013. – 51 с. (13 экз)

3. Шадрин С.Ю. Основы теплопроводности твердых тел [Электронный ресурс] : учеб. -метод. пособие / М-во образования и науки РФ, Костромской гос. ун-т. - Электрон. текст. данные. - Кострома : КГУ, 2017. - 71, [1] с. - Библиогр.: с. 71-72. - ISBN 978-5-8285-0832-7 : Б. ц.

4. Шадрин С.Ю. Теплообмен при кипении жидкости [Электронный ресурс] : методические указания для самостоятельной работы студентов : текстовое учебное

электронное сетевое издание / М-во образования и науки РФ, Костром. гос. ун-т, Каф. общей и теоретической физики. - Электрон. текст. данные. - Кострома : КГУ, 2018. - 20 с. - Библиогр.: с. 16. - Б. ц.

б) дополнительная

1. Лекции по теплотехнике : конспект лекций / Министерство образования и науки Российской Федерации, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» ; сост. В.А. Никитин. - Оренбург : ОГУ, 2011. - 532 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259242> (23.01.2018).

2. Пахомов, А.Н. Основы решения задач теплообмена : учебное пособие / А.Н. Пахомов, Н.Ц. Гатапова, Ю.В. Пахомова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 82 с. : ил. - Библ. в кн. - ISBN 978-5-8265-1475-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444965> (23.01.2018).

3. Инженерные методы расчета задач нелинейного теплообмена при ламинарном течении жидкости в каналах : коллективная монография / Ю.В. Видин, В.С. Злобин, В.В. Иванов, Г.Г. Медведев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Сибирский Федеральный университет. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2015. - 156 с. : табл., граф. - Библиогр.: с. 100-102. - ISBN 978-5-7638-3156-6 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=435684> (23.01.2018).

4. Архипов, В. Физико-химические основы процессов тепломассообмена : учебное пособие / В. Архипов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». - Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2015. - 199 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442086> (23.01.2018).

5. Кудинов, И.В. Теоретические основы теплотехники : учебное пособие / И.В. Кудинов, Е.В. Стефанюк ; Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный архитектурно-строительный университет». - Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2013. - Ч. II. Математическое моделирование процессов теплопроводности в многослойных ограждающих конструкциях. - 422 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9585-0555-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256111> (23.01.2018).

6. Кудинов, И.В. Аналитические решения гиперболических уравнений тепломассопереноса и колебаний упругих тел : монография / И.В. Кудинов ; Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный архитектурно-строительный университет». - Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2013. - 144 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9585-0519-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256109> (23.01.2018).

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Информационно-образовательные ресурсы:

1. Thermalinfo.ru – сайт справочной информации по теплофизическим свойствам веществ в зависимости от температуры и давления.

Электронные библиотечные системы:

1. Университетская библиотека онлайн <http://biblioclub.ru>

2. «Лань» <http://e.lanbook.com/>

3. ЭБС «Znanium»

9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория для лекций

Лекционные занятия проводятся в аудиториях с требуемым числом посадочных мест, оборудованные мультимедиа (например, корпус Е, № 226, количество посадочных мест – 60, мультимедийный комплекс, включающий экран, компьютер и проектор)

Аудитория для практических занятий:

Корпус Е, № 304, количество посадочных мест – 24.

Аудитории для самостоятельной работы:

Читальный зал корпуса «Е», количество посадочных мест – 22, 9 компьютеров (6 для читателей, 3 для сотрудников); 1 сканер.

Читальный зал корпуса «Б1», количество посадочных мест – 200. 3 компьютера для сотрудников; 1 принтер; 1 копир/принтер; 1 проектор; 2 экрана для проектора; 1 ворота «Антивор»; 1 WIFI-точка доступа. Лицензионное ПО: АИБС МаркSQL.

Компьютерный класс, корпус "Е", ауд.227, количество посадочных мест – 16, Блок системный КМ Office ТЗ-4170, монитор Philips. Лицензионное ПО: Windows 8.1 Pro договор № 50155/ЯР4393 от 12.12.2014 с ООО Софт-лайн Проекты, MathCAD Education договор № 208/13 от 10.06.2013 с ООО ЮнитАльфаСофт.