


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

УТВЕРЖДЕНО:  
на заседании кафедры прикладной физики  
протокол от «23» марта 2022 г. № 7

СОГЛАСОВАНО:  
Директор физико-технического  
института

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / Л.А.Ковалева

 /И.Ф. Шарафуллин  
«25» марта 2022 г.

**УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**ПОДГОТОВКА КАДРОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ**  
**ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ**  
**В АСПИРАНТУРЕ**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

«Тепломассоперенос при воздействии внешних физических полей»

Вариативная часть, обязательные дисциплины

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия

Направленность подготовки Теплофизика и теоретическая теплотехника

Квалификация  
**Исследователь. Преподаватель-исследователь**

Форма обучения  
Очная, заочная

Уфа, 2022 г.

Составитель / составители: д.ф.-м.н. проф. Хабибуллин И.Л. \_



Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины (обновлены перечень основной и дополнительной литературы и лицензионное программное обеспечение, необходимое для освоения дисциплин), приняты на заседании кафедры прикладной физики протокол от «23» марта 2022 г. № 7.

Зав. кафедрой  / Л.А. Ковалева

## Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных спланируемыми результатами освоения ОПОП
2. Цели и место дисциплины в структуре ОПОП
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)
4. Фонд оценочных средств по дисциплине
  - 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания
  - 4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
  - 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины
  - 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине
  - Приложение № 1. Содержание рабочей программы (очная форма)
  - Приложение № 2. Содержание рабочей программы (заочная форма)

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы**  
(с ориентацией на карты компетенций)

В результате освоения основной профессиональной образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Результаты обучения		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	Знать физические основы и механизмы влияния внешних физических полей на процессы тепло – и массопереноса	ПК-2 - способностью применять при решении практических задач технико-технологического характера в теплотехнике и в смежных отраслях методологии теории тепломассопереноса ПК-3 - способностью использовать при решении задач теплофизики и теплотехники современных теоретических методов информационных технологий программных комплексов и численных методов.	
Умения	Уметь сформулировать и решать задачи о динамике температурного поля в различных средах при наличии воздействия внешних физических полей	ПК-2 - способностью применять при решении практических задач технико-технологического характера в теплотехнике и в смежных отраслях методологии теории тепломассопереноса ПК-3 - способностью использовать при решении задач теплофизики и теплотехники современных теоретических методов информационных технологий программных комплексов и численных методов.	
Владения (навыки / опыт деятельности)	Владеть навыками анализа процессов тепломассопереноса при наличии воздействия внешних физических полей на качественном и количественном уровнях.	ПК-2 - способностью применять при решении практических задач технико-технологического характера в теплотехнике и в смежных отраслях методологии теории тепломассопереноса.	

		ПК-3 - способностью использовать при решении задач теплофизики и теплотехники современных теоретических методов информационных технологий программных комплексов и численных методов.	
--	--	---	--

## **2. Цели и место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Тепломассоперенос при воздействии внешних физических полей» относится к вариативной части.

Дисциплина изучается на 3 курсе 6 семестре.

Целью дисциплины является подготовка высококвалифицированного специалиста в области моделирования и анализа процессов тепломассопереноса в различных технологических устройствах и в природных системах при наличии воздействия внешних физических полей.

В процессе обучения по данной дисциплине аспирант углубляет свои знания о процессах тепломассопереноса в различных средах, о возможностях использования внешних физических полей (ВЧ и СВЧ электромагнитное поле, акустическое поле, электрическое поле, вибрационные воздействия) для интенсификации тепломассопереноса. Осваивает теоретические основы взаимодействия этих полей с различными материальными средами, модели и методы расчета интенсификации термических технологических процессов (нагрев, сушка, очистка, плавление, испарение, сублимация, химические реакции и т.д.) при воздействии внешних физических полей.

## **3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)**

Содержание рабочей программы по очной форме представлено в Приложении № 1.

Содержание рабочей программы по заочной форме представлено в Приложении № 2.

#### 4. Фонд оценочных средств по дисциплине

##### 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы.

##### Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код и формулировка компетенции

ПК-2 - способностью применять при решении практических задач технико-технологического характера в теплотехнике и в смежных отраслях методологии теории теплопереноса.

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (Пороговый уровень)	Знать применение на практике основных методов теории теплопереноса	Отсутствие знаний	Неполные знания базовых теоретических положений теории теплопереноса для решения профессиональных задач	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания базовых теоретических положений теории теплопереноса для решения профессиональных задач	Сформированные систематизированные знания базовых теоретических положений теории теплопереноса для решения профессиональных задач
Второй этап (Базовый уровень)	Уметь применять на практике знания в области теории теплопереноса	Отсутствие умений	Неполные умения решать основные задачи теплопереноса	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы умения решать основные задачи теплопереноса	Сформированные систематизированные умения решать основные задачи теплопереноса

Третий этап (Повышенный уровень)	Владеть понятийным аппаратом и методами теории теплопереноса для использования их на практике	Не владеет	Отрывочные владения понятийным аппаратом и методами теории теплопереноса	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы владения понятийными методами теории теплопереноса	Сформированные и систематизированные владения понятийным аппаратом и методами теории теплопереноса
----------------------------------	---	------------	--	--	--

ПК-3 - способностью использовать при решении задач теплофизики и теплотехники современных теоретических методов информационных технологий программных комплексов и численных методов.

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (Пороговый уровень)	Знать методы измерения теплофизических параметров вещества, о механизмах процессов теплопереноса и их математическом описании	Отсутствие знаний	Неполные знания базовых теоретических положений теории теплопереноса для решения профессиональных задач	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания базовых теоретических положений теории теплопереноса для решения профессиональных задач	Сформированные систематизированные знания базовых теоретических положений теории теплопереноса для решения профессиональных задач



Второй этап (Базовый уровень)	Уметь использовать знания в области теории теплопереноса при проведении научных исследований	Отсутствие умений	Неполные умения использовать знания в области теории теплопереноса при проведении научных исследований	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания при решении научных задач теплопереноса	Сформированные и систематизированные знания при решении научных задач теплопереноса
Третий этап (Повышенный уровень)	Владеть аппаратом теории теплопереноса для решения задач в избранной области профессиональной деятельности	Не владеет			

**4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
1-й этап Знания	Знать применение на практике основных методов теории теплопереноса	ПК-2	Индивид. проверка конспектов.
	Знать методы измерения теплофизических параметров вещества, о механизмах процессов теплопереноса и их математическом описании	ПК-3	

2-й этап Умения	Уметь применять на практике знания в области теории теплопереноса	ПК-2	Индивид. проверка конспектов.
	Уметь использовать знания в области теории теплопереноса при проведении научных исследований	ПК-3	
3-й этап Владеть навыками	Владеть понятийным аппаратом и методами теории теплопереноса для использования их в практике	ПК-2	Индивид. проверка заданий по самостоятельной работе. Контрольная работа по задачам.
	Владеть аппаратом теории теплопереноса для решения задач в избранной области профессиональной деятельности	ПК-3	

**К оценочным средствам можно отнести:** В качестве основного оценочного средства текущего контроля используются индивидуальная проверка заданий по самостоятельной работе, дискуссии на лекционном и практических занятиях по прочитанной литературе. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – письменная работа. Аттестация по итогам освоения дисциплины – экзамен.

#### Экзаменационные билеты

Экзамен является оценочным средством для всех этапов освоения компетенций. Кандидатский экзамен оценивается по пятибалльной шкале.

#### Вопросы для экзамена:

1. Основные механизмы переноса массы и импульса
2. Основные механизмы переноса энергии
3. Уравнение неразрывности
4. Уравнение движения
5. Уравнение переноса энергии. Уравнение теплопроводности.
6. Уравнение Умова-Пойнтинга. Перенос энергии излучением. Закон Бугера-Ламберта.
7. Закон сохранения энергии при наличии внешнего электромагнитного поля (ЭМП)
8. Диссипация энергии ЭМП в материальных средах
9. Влияние внешнего ЭМП на коэффициенты переноса
10. Тепловые источники при нагреве сред плоской и аксиально-симметричными волнами. Приближения для ближней и дальней зон.
11. Уравнение теплопроводности при диссипации энергии ЭМП
12. Краевые задачи для уравнения теплопроводности
13. Температурное поле при нагреве ВЧ ЭМП в адиабатическом приближении
14. Задача о нагреве ВЧ ЭМП с учетом теплообмена с окружающей средой
15. Конвективная теплопроводность в поле электромагнитного излучения.

16. Задачи фильтрации при электромагнитном нагреве.
17. Термоупругие процессы инициируемые нагревом электромагнитным излучением.
18. Задачи о фазовых переходах в поле электромагнитного излучения.
19. Нелинейные эффекты при нагреве электромагнитным излучением.
20. Тепло-массоперенос в акустическом поле

### Образец экзаменационного билета:

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия,  
Направленность «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

### БИЛЕТ № 1

1. Основные механизмы переноса массы и импульса.
2. Уравнение Умова-Пойнтинга. Перенос энергии излучением. Закон Бугера-Ламберта.
3. Уравнение теплопроводности при диссипации энергии ЭМП.

#### Примерные критерии оценивания ответа на экзамене:

**5 баллов (отлично)** выставляется аспиранту, если он дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Аспирант без затруднений ответил на все дополнительные вопросы. Практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок.

**4 балла (хорошо)** выставляется, если аспиранту, если он раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности. При выполнении практической части работы допущены несущественные ошибки.

**3 (удовлетворительно)** выставляется аспиранту, если при ответе на теоретические вопросы им допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос. Аспирант не решил задачу или при решении допущены грубые ошибки.

**2 (неудовлетворительно)** выставляется аспиранту, если ответы на теоретические вопросы свидетельствуют о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Аспирант не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

#### Регламентация самостоятельной работы аспирантов (СРА).

Самостоятельная работа аспиранта включает в себя следующие виды:  
Самостоятельная работа с литературой и изучение материала согласно рабочей программы дисциплины, составление кратких конспектов и решение задач.

#### Примерные задачи для самостоятельной работы

**1.** Найти скорость движения жидкости плотностью  $\rho$  и вязкостью  $\mu$  в капилляре длины  $l$ , если капилляр помещен во внешнее неоднородное электрическое поле  $E(z)$ . Ось  $z$  совпадает с направлением капилляра, радиус капилляра  $r$ , поверхностное натяжение жидкости  $\sigma$ , диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon$ , краевой угол смачивания  $\theta$ .

2. В книге Л.Д. Ландау и Е.М.Лифшица «Электродинамика сплошных сред» (§9, 1982 г.) излагаются два способа вычисления проницаемости смеси  $\epsilon_{см}$ : 1) так называемое нулевое приближение, когда различие между значениями  $\epsilon$  составляющих компонент малы; 2) диэлектрические проницаемости составляющих смеси произвольны, но объемная концентрация  $c$  диспергированной фазы мала ( $c \ll 1$ ). В первом случае показано, что  $\epsilon_{см} = \epsilon$ , где  $\epsilon = \frac{1}{V} \int \epsilon dV$  ( $V$  – объем). Во втором случае для смеси, частицы диспергированной фазы которой – сферы одинакового радиуса, получена формула Максвелла:

$$\epsilon_{см} = \epsilon_1 + c \frac{3(\epsilon_2 - \epsilon_1)\epsilon_1}{\epsilon_2 + 2\epsilon_1},$$

(индекс 1 относится к несущей фазе, индекс 2 – к диспергированной среде). Показать, что в первом случае верна формула  $\epsilon_{см} = (1-c)\epsilon_1 + c\epsilon_2$  и вывести формулу Максвелла для второго случая. Убедиться, что при соответствующих предположениях формула для первого случая следует из выражения Максвелла. Оценить, для каких значений концентраций диспергированной среды  $c'$  верна формула Максвелла, имея ввиду, что при ее выводе использовано допущение о том, что частицы находятся во внешнем поле, совпадающем со средним полем в среде. Другими словами, полагается, что поле, создаваемое соседней частицей, намного меньше усредненного по объему внешнего поля.

3. Из уравнений Максвелла получить волновое уравнение, описывающее распределение напряженности электрического поля  $\vec{E}(r,t)$  в бесконечной изотропной среде с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  и проводимостью  $\sigma$ . Преобразовать полученное уравнение для монохроматического электромагнитного поля  $\vec{E}(r,t) = \vec{E}_0(r)e^{i(\omega t - kr)}$ , где  $\omega$  – частота поля. Вывести условие, при выполнении которого из последнего уравнения следует волновое уравнение в форме Гельмгольца  $\Delta \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0$ . Найти выражение для постоянной распространения волны  $k$ .

4. Представив постоянную распространения волны  $k$ , полученную в предыдущей задаче, соотношением  $k = \beta - i\alpha$  через волновое число  $\beta$  и постоянную затухания  $\alpha$  и выразив диэлектрическую проницаемость среды соотношением  $\epsilon = \epsilon' - i\epsilon''$ , найти выражения для  $\alpha$  и  $\beta$  в общем случае и для диэлектрика с малыми потерями ( $\sigma = 0, \epsilon'' \ll \epsilon'$ ).

5. Построить решение уравнений Гельмгольца (задача 58), описывающих распределение амплитуд векторов напряженностей электрического  $\vec{E}(r,t)$  и магнитного  $\vec{H}(r,t)$  полей для одномерной плоской монохроматической волны в неограниченной поглощающей диэлектрической среде. Используя вектор Умова-Пойнтинга, найти плотность потока энергии  $\vec{P}$ , переносимой волной. На основе теоремы Пойнтинга найти энергию поля  $Q$ , диссипируемую в тепло в единице объема за единицу времени (плотность электромагнитных тепловых источников).

6. Используя выражение  $Q$ , полученное в предыдущей задаче, определить температуру в поглощающей среде при распространении в ней высокочастотных электромагнитных волн, пренебрегая молекулярным потоком тепла. Найти время  $t_L$ , необходимое для прогрева среды на заданной поверхности  $z=L$  до заданной температуры  $T_L$ . Полагая, что при нагреве возможно изменение агрегатного состояния среды при температуре  $T_\phi$  (фазовые переходы типа – плавление, испарение и т.д.) оценить размеры  $\Delta l$  области объемного фазового перехода. Начальная температура в среде  $T_0$ .

7. Показать, что на границе раздела двух сред нормальные составляющие вектора Пойнтинга не терпят разрыва. Показать, что для стоячей электромагнитной волны среднее за период колебаний значение вектора Пойнтинга равно нулю.

**8.** Плоская электромагнитная волна частоты  $\omega$  проходит через границу раздела  $l$  двух сред с диэлектрическими проницаемостями  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ . Считая среды 1 и 2 поглощающими, получить выражения плотности тепловых источников  $q_1$  и  $q_2$  в средах 1 и 2 за счет диссипации энергии электромагнитного поля в тепло. Найти скачок тепловых источников  $\Delta q$  на разрыве  $l$ . Показать, что на поверхности  $l$  вектор Умова-Пойнтинга является непрерывным. Первая среда ( $0 < x < l$ ) характеризуется комплексным волновым вектором  $k = \beta_1 - i\alpha_1$ , вторая среда ( $l < x < \infty$ ) -  $k_2 = \beta_2 - i\alpha_2$ , здесь  $\beta$  и  $\alpha$  – волновое число и постоянная затухания. Амплитуда напряженности электрического поля при  $x=0$ ,  $E(x=0) = E_0$ ,  $\varepsilon_1 = \varepsilon'_1 - i\varepsilon''_1$ ,  $\varepsilon_2 = \varepsilon'_2 - i\varepsilon''_2$ .

**9.** Построить решение уравнения Гельмгольца для аксиально-симметричных электромагнитных волн, излучающихся от цилиндрического излучателя высоты  $h$ , мощности  $N$  и радиуса  $r_0$  в области  $r_0 < r < \infty$  для диэлектрической немагнитной среды с потерями. При этом  $E_r = E_\varphi = H_r = H_\varphi = 0$ ,  $k = \beta - i\alpha$ . На поверхности  $r=r_0$  радиальная компонента векторов Умова-Пойнтинга определяется мощностью источника волн согласно выражению

$$\frac{N}{\pi r_0 h} = \operatorname{Re} \left\{ E_z \cdot H_\varphi^* \right\} \Big|_{r=r_0}$$

Рассматриваются монохроматические волны, поэтому напряженности полей  $E_z$  и  $H_\varphi$  – комплексные величины, знак \* означает комплексно-сопряженное значение.

**10.** На основе решения предыдущей задачи найти плотность тепловых источников в среде  $q$ , возникающих за счет диссипации энергии электромагнитного поля в тепло из-за диэлектрических потерь. Получить выражение  $q$  для ближней ( $kr \ll l$ )  $Q_0$  и дальней ( $kr \gg l$ )  $Q_\infty$  зон, используя асимптотическое разложение функций Ханкеля и представления  $k$  и  $k^*$  через величины  $\alpha$  и  $\beta$ .

**11.** Выражение  $Q_\infty$ , полученное в предыдущей задаче, используется при расчетах температурного режима в прикладных задачах, посвященных исследованию возможностей интенсификации добычи тяжелых нефтей и битумов за счет нагрева пласта высокочастотным электромагнитным излучением. При этом уравнение теплопроводности, содержащее слагаемое  $Q_\infty$ , рассматривается во всей области  $r \geq r_0$  ( $r_0$  – радиус излучателя электромагнитных волн, практически совпадающий с радиусом скважины). Для пластов, как правило  $tg\delta = \varepsilon''/\varepsilon' \ll 1$ . Найти условие, при котором возможно использование в указанных задачах выражения  $Q_\infty$  и произвести оценку для типичных значений физических параметров.

**12.** В прозрачной по отношению к распространению электромагнитных волн среде находится сферическая полость радиуса  $a$ , заполненная веществом, сильно поглощающим электромагнитное излучение. Длина электромагнитных волн намного больше радиуса полости. Напряженность электрического поля в среде  $E_0$ , диэлектрические проницаемости среды и полости  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ , частота электромагнитных волн  $\omega$ , теплопроводность и коэффициент температурного расширения среды  $\lambda$  и  $\alpha$ , коэффициент Пуассона для материала среды  $\nu$ , модуль упругости  $M$ . Считая процесс стационарным, определить температурное поле  $T$  в сферической области радиуса  $b$  в окружающей среде и оценить возникающие при этом термоупругие напряжения  $\sigma$  и возможность электротермического нарушения сплошности среды.  $T(r=b) = T_0$ .

**13.** Выразить модуль напряженности электрического поля  $E$  плоской волны через модуль вектора Пойнтинга  $S$  и диэлектрическую проницаемость  $\varepsilon$  среды.

**14.** Найти интенсивность  $I$  радиальной волны в поглощающей среде с коэффициентом поглощения  $\alpha$ .  $I(r_0) = I_0$ .

**15.** Показать, что уравнение

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = q_0 \alpha \left( \frac{\partial}{\partial x} \int_0^x \alpha(x', t) dx' \right), \quad \alpha \left( \frac{\partial}{\partial x} \right) \equiv \alpha(T),$$

имеет решение в неявном виде

$$t = \frac{\rho c}{q_0} \int_{T_0}^{T(0,t)} \frac{dT}{\alpha(T)}, \quad x = \int_{T(x,t)}^{T(0,t)} \frac{dT}{(T-T_0)\alpha(T)}, \quad T_0 = T(0,0).$$

**16.** Построить решение задачи, описывающей нагрев движущейся со скоростью  $\mathcal{V}$  среды электромагнитным излучением в случае, когда показатель поглощения излучения изменяется в процессе нагрева за счет изменения диэлектрических свойств среды:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \mathcal{V} \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{2\alpha(x,t)q_0}{\rho c} e^{-2\int_0^x \alpha(x',t) dx'}$$
$$\alpha = \alpha_0 - \gamma(T - T_0), \quad T(x, t = 0) = 0.$$

Проанализировать полученное решение для следующих случаев:

а) в процессе нагрева происходит «просветление» среды:  $\gamma > 0$ .

б) в процессе нагрева происходит «затемнение» среды:  $\gamma < 0$ .

Исследовать влияние на температурное поле движения среды:  $\mathcal{V} > 0$ ,  $\mathcal{V} < 0$ ,  $\mathcal{V} = 0$ .

## Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Седов Л. И. Механика сплошной среды : в 2 т. / Л. И. Седов ; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова .— Изд. 6-е, стер. — СПб. : Лань, .— (Классический университетский учебник) .Т. 1 .— 2004 .— 528 с.; Т. 2 .— 2004 .— 560 с.

2. Хабибуллин И.Л. Физика сплошных сред в примерах и задачах. РИЦ БашГУ, 2013.

— Электрон. версия печ. публикации .— Доступ возможен через Электронный читальный зал (ЭЧЗ) .— <URL: <https://bashedu.bibliotech.ru/Reader/Book/2013051610204192915200003261>>

3. Цыпкин, Г.Г. Течения с фазовыми переходами в пористых средах [Электронный ресурс] : монография / Г.Г. Цыпкин .— Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009 .— Электрон. версия печ. публикации .— Доступ возможен через Электронную библиотеку БашГУ .— <[https://elib.bashedu.ru/dl/corp/Cipkin\\_Techenie\\_s\\_fazovymi\\_perehodami\\_mon\\_2009.pdf](https://elib.bashedu.ru/dl/corp/Cipkin_Techenie_s_fazovymi_perehodami_mon_2009.pdf)>.

#### Дополнительная литература:

1. Де-Гроот С.Р., Сатторн Л.Г. Электродинамика. М.:Наука, 1982. – 566с.
2. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных систем.ч.1,2 М.:Наука, 1987
3. Лыков А.В. Тепломассообмен Справочник. – М.:Энергия. 1971. – 560с.
4. Хабибуллин И.Л. Электромагнитная термодинамика поляризующихся сред. Издание Башкирского университета – Уфа 2000, 246с.
5. Галимбеков А.Д., Ковалева Л.А. Некоторые аспекты взаимодействия электромагнитных полей с поляризующимися средами. Уфа:РИОБашГУ, 2004. 104с.

**5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины, включая современные профессиональные базы данных (в том числе международные реферативные базы данных научных изданий) и информационные справочные системы**

Доступ к тексту электронного издания возможен через Научную-электронную библиотеку eLibrary.ru. — ISBN: 0044-4669— [http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7791](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7791).  
 Реферативные базы данных научного цитирования SCOPUS (<http://www.scopus.com>),  
 WEB OF SCIENCE (<http://webofknowledge.com>),

1. [www.gpntb.ru/](http://www.gpntb.ru/)— Государственная публичная научно-техническая библиотека.
2. [www.nlr.ru/](http://www.nlr.ru/) — Российская национальная библиотека.
3. [www.nns.ru/](http://www.nns.ru/) — Национальная электронная библиотека.
4. [www.rsl.ru/](http://www.rsl.ru/)— Российская государственная библиотека.
5. [www.microinform.ru/](http://www.microinform.ru/) — Учебный центр компьютерных технологий

#### **6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для проведения лекционных занятий используется аудиторный фонд физико-технического института, аудитория кафедры прикладной физики, оснащенная экраном, мультимедийным проектором и ноутбуком для проведения лекционных и практических занятий с использованием презентационного материала.

Для самостоятельной работы аспиранты могут использовать компьютерный класс кафедры прикладной физики, имеющем следующее оборудование:

- рабочие станции на базе ПЭВМ “IntelCore 2 Duo” - 10 шт.;
- интерактивная доска SmartBoard;
- принтер;
- проектор и экран.

<i>Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий</i>	<i>Вид занятий</i>	<i>Наименование оборудования, программного обеспечения</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Аудитория 218</i>	<i>Лекции, семинары</i>	Учебная мебель, доска аудиторная, кондиционер(сплит-система) Haier HSU-24HEK203/R2- HSU-24HUN03/R2, экран настенный с электроприводом ClassicLyra 203x203 (E195x195/1 MW-L8/W), ноутбук HPMini 110-3609er Atom N455/2/250/WiFi/ВТ/Win7St/10.1"/1.29кг, проектор BenQ MX520 (9H.J6V77.13E/9H.J6V77.13F)
<i>Аудитория 425</i>	Компьютерный класс	Учебная мебель, доска маркерная, компьютер в составе: SOC -1150 AsusIntelCore i3-4150.4096 mb.1024 mb.64bit DDR3.монитор 23, клавиатура,мышь, кондиционер (сплит-система)Haier HSU-18HEK203/R2-HSU-18HUN03/R2, копировальный аппарат Canon FC-230, персональный компьютер в комплекте №1 KlamaSoffice, монитор DELL 21,5 – 8 шт., принтер HP LaserJet 1220

		лазерный А4 (принт+копир+сканер), принтер Samsung ML-1750 лазерный (А4, 16 стр/мин, 1200*600dpi, LPT/USB 2.0), проектор BenQProjectorPB7.210 (DIP,1024*768, D-sub, RCA, S-Video,Component, USB, ), системный блок компьютера Celeron 315-2.26/s478 EliteGroupP4M800-M/256Mb/80Gb/3.5"/CD-ROM/ATX
--	--	--



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины «Тепломассоперенос при воздействии внешних физических полей» на 6  
семестре

(наименование дисциплины)

Очная форма обучения

форма обучения

<b>Вид работы</b>	<b>Объем дисциплины</b>
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	3/108
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	8
лекций	2
практических	4
Контроль самостоятельной работы (КСР)	2
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СРС)	64
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/ дифференцированному зачету (контроль)	36

Формы контроля: экзамен 6 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)			Основная и дополнительная литература, рекомендуемая аспирантам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе аспирантов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	СРС			
1	2	3	5	6	7	8	9
1.	<p><b>Основы классической теории теплопереноса</b></p> <p>Основные механизмы переноса массы и импульса. Основные механизмы переноса энергии. Уравнение неразрывности. Уравнение движения. Уравнение переноса энергии. Уравнение теплопроводности.</p>	2		20	О.1, О.3, Д.2, Д.3	Проработка лекционного материала по основным уравнениям теории теплопереноса.	Индивид. проверка конспектов, дискуссия на лекции.
2.	<p><b>Особенности процессов теплопереноса при воздействии ВЧ и СВЧ электромагнитных полей</b></p> <p>Уравнение Умова-Пойнтинга. Перенос энергии излучением. Закон Бугера-Ламберта. Закон сохранения энергии при наличии внешнего электромагнитного поля (ЭМП). Диссипация энергии</p>			20	О.1, О.2, Д.1, Д.4, Д.5.	Изучение основной и дополнительной литературы. Составление конспектов.	Индивид. проверка конспектов по самостоятельной работе.

	ЭМП в материальных средах. Влияние внешнего ЭМП на коэффициенты переноса. Тепловые источники при нагреве сред плоской и аксиально-симметричными. волнами. Приближения для ближней и дальней зон.						
3.	<p><b>Моделирование процессов тепломассопереноса при воздействии внешних физических полей</b></p> <p>Уравнение теплопроводности при диссипации энергии ЭМП. Краевые задачи для уравнения теплопроводности. Температурное поле при нагреве ВЧ ЭМП в адиабатическом приближении. Задача о нагреве ВЧ ЭМП с учетом теплообмена с окружающей средой. Конвективная теплопроводность в поле электромагнитного излучения. Задачи фильтрации при электромагнитном нагреве. Термоупругие процессы инициируемые нагревом электромагнитным</p>	4	24	О.2, Д.2, Д.4, Д.5.	Изучение основной и дополнительной литературы. Составление конспектов. Решение задач.	Индивид. проверка заданий по самостоятельной работе, дискуссия на практическом занятии. Контрольная работа по задачам.	

	излучением. Задачи о фазовых переходах в поле электромагнитном излучении. Нелинейные эффекты при нагреве электромагнитным излучением. Тепло-массоперенос в акустическом поле.						
4.	КСР	-	-				Письменная работа
5.	Контроль	-	-				Экзамен
	<b>Всего часов:</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>64</b>			

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины «Теплофизика и теоретическая теплотехника» на 4 и 5 семестрах  
(наименование дисциплины)

Заочная форма обучения

форма обучения

<b>Вид работы</b>	<b>Объем дисциплины</b>
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	3/108
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	10
лекций	2
практических	4
Контроль самостоятельной работы (КСР)	4
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СРС)	89
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/ дифференцированному зачету (контроль)	9

Формы контроля: экзамен 6 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)			Основная и дополнительная литература, рекомендуемая аспирантам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе аспирантов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	СРС			
1	2	3	5	6	7	8	9
1.	<p><b>Основы классической теории теплопереноса</b></p> <p>Основные механизмы переноса массы и импульса. Основные механизмы переноса энергии. Уравнение неразрывности. Уравнение движения. Уравнение переноса энергии. Уравнение теплопроводности.</p>	2		30	О.1, О.3, Д.2, Д.3	Проработка лекционного материала по основным уравнениям теории теплопереноса.	Индивид. проверка конспектов, дискуссия на лекции.
2.	<p><b>Особенности процессов теплопереноса при воздействии ВЧ и СВЧ электромагнитных полей</b></p> <p>Уравнение Умова-Пойнтинга. Перенос энергии излучением. Закон Бугера-Ламберта. Закон сохранения энергии при наличии внешнего электромагнитного поля (ЭМП). Диссипация энергии</p>			30	О.1, О.2, Д.1, Д.4, Д.5.	Изучение основной и дополнительной литературы. Составление конспектов.	Индивид. проверка конспектов по самостоятельной работе.

	ЭМП в материальных средах. Влияние внешнего ЭМП на коэффициенты переноса. Тепловые источники при нагреве сред плоской и аксиально-симметричными. волнами. Приближения для ближней и дальней зон.						
3.	<p><b>Моделирование процессов тепломассопереноса при воздействии внешних физических полей</b></p> <p>Уравнение теплопроводности при диссипации энергии ЭМП. Краевые задачи для уравнения теплопроводности. Температурное поле при нагреве ВЧ ЭМП в адиабатическом приближении. Задача о нагреве ВЧ ЭМП с учетом теплообмена с окружающей средой. Конвективная теплопроводность в поле электромагнитного излучения. Задачи фильтрации при электромагнитном нагреве. Термоупругие процессы инициируемые нагревом электромагнитным</p>	4	29	О.2, Д.2, Д.4, Д.5.	Изучение основной и дополнительной литературы. Составление конспектов. Решение задач.	Индивид. проверка заданий по самостоятельной работе, дискуссия на практическом занятии. Контрольная работа по задачам.	

	излучением. Задачи о фазовых переходах в поле электромагнитном излучении. Нелинейные эффекты при нагреве электромагнитным излучением. Тепло-массоперенос в акустическом поле.						
4.	КСР	-	-				Письменная работа
5.	Контроль	-	-				Экзамен
	<b>Всего часов:</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>89</b>			



