

Приложение № 5
к программе
подготовки научных и научно-педагогических
кадров в аспирантуре
НИЦ «Курчатовский институт»
по научной специальности
1.3.14. Теплофизика
и теоретическая теплотехника

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по специальной дисциплине
«Теплофизика и теоретическая теплотехника»

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Теплофизика и теоретическая теплотехника» являются углубленное изучение термодинамики, теории теплофизических свойств веществ, процессов переноса тепла и массы в сплошных и разреженных гомогенных средах.

Цели изучения дисциплины «Теплофизика и теоретическая теплотехника» включают освоение методов теоретического описания и численного моделирования массо-и теплообмена.

2. Место дисциплины в структуре программы подготовки научных и научно-педагогических кадров

Дисциплина «Теплофизика и теоретическая теплотехника» входит в образовательный компонент и является специальной дисциплиной программы подготовки научных и научно-педагогических кадров для научной специальности 1.3.14. «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

В соответствии с учебным планом занятия проводятся на первом, втором году обучения (во втором, третьем, четвертых семестрах). Кандидатский экзамен сдается в четвертом семестре.

Объем дисциплины составляет 396 часов (11 зачетных единиц), из которых 198 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (лекции, занятия семинарского типа, групповые и индивидуальные консультации, мероприятия текущего контроля успеваемости и итогового контроля). Самостоятельная работа обучающегося составляет 198 часов. Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых и/или индивидуальных консультаций.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Данная дисциплина участвует в формировании следующих компетенций:

- 1) способность к критическому анализу и оценке современных

научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;

2) способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития;

3) владеть методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности;

4) владеть культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий;

5) способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области теплофизики и теоретической теплотехники, и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта;

6) способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научных исследованиях в области теплофизики и теоретической теплотехники.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен знать:

1) методы и способы постановки и решения задач теплофизических исследований, принципы действия, функциональные и метрологические возможности современной аппаратуры для физических исследований, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований;

2) существующие методы и методические подходы в научных исследованиях в области теплофизики и теоретической теплотехники и возможные способы их развития;

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен уметь:

1) самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области теплофизики и теоретической теплотехники с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий;

2) критически анализировать современные методы и методические подходы в научных исследованиях в области теплофизики и теоретической теплотехники, выбирать способы решения поставленной задачи и разрабатывать программу развития существующих методов исследования;

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен владеть:

1) навыками постановки и решения задач научных исследований в области теплофизики и теплотехники с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований;

2) навыками модернизации экспериментальной аппаратуры, разработки и модификации расчетно-теоретических и численных методов научных исследований в области теплофизики и теоретической теплотехники;

3) современными методами научного анализа массо-и теплообмена.

4. Объем дисциплины, виды учебной работы (в часах), структура и содержание дисциплины

4.1. Объем и виды учебной работы (в часах) по дисциплине в целом

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость базового модуля дисциплины	396
Аудиторные занятия (всего)	198
В том числе:	
Лекции (Л)	144
Семинары/практические занятия (С/ПрЗ)	54
Самостоятельная работа (СР)	198
В том числе [*] :	
Форма текущего контроля	реферат, контрольная работа, (домашние задания, индивидуальные и групповые консультации)
Форма итогового контроля (промежуточная аттестация)	экзамен (КЭ)

^{*} - приводятся все виды самостоятельной работы по данной дисциплине

4.2. Структура и содержание дисциплины

№ темы	Наименование разделов, тем дисциплины	Часы			
		Всего	Л	С/ПрЗ	СР
1	2	3	4	5	6
1	Термодинамика. Основы, первый и второй законы термодинамики. Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы, термодинамические свойства веществ	76	27	9	40
2	Термодинамические процессы, истечение газов и жидкостей, термодинамические циклы	29	9	9	11
3	Тепломассообмен. Теплопроводность. Конвективный теплообмен в однокомпонентной среде, свободная конвекция	77	36	9	32
4	Теплообмен при внешнем обтекании тела. Теплообмен при течении жидкости в каналах	29	9	9	11
5	Теплообмен при фазовых превращениях. Теплообмен излучением	108	27	9	72
6	Теплофизические свойства теплоносителей ядерных реакторов. Основы расчета теплообменных аппаратов и теплогидравлического расчёта активных зон ядерных реакторов	77	36	9	32
Всего		396	144	54	198

4.2.1 Содержание лекционного курса

№ темы	Всего часов	Содержание разделов дисциплины
1	2	3
1	9	Основы термодинамики. Параметры состояния. Понятие о термодинамическом процессе. Законы идеального газа. Первый закон термодинамики. Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия и внешняя работа. Энтальпия. Уравнение первого закона термодинамики. Второй закон термодинамики
1	9	Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы. Гомогенные и гетерогенные термодинамические системы.

		Термодинамическое равновесие. Условия фазового равновесия. Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Термодинамические свойства веществ. Термические и калорические свойства жидкостей. Критическая точка. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Уравнение состояния реальных газов
1	9	Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов и в критической точке. Термодинамические свойства вещества в метастабильном состоянии. Основные термодинамические процессы. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс
2	9	Процессы истечения газов и жидкостей. Параметры торможения. Сопло, диффузор. Полное и статическое давление. Уравнение Бернулли. Число Маха. Показатель адиабаты. Термодинамические циклы. Термический КПД. Циклы Карно, Отто, Дизеля, Брайтона, Ренкина
3	9	Физические основы процессов переноса тепла и массы. Теплоотдача и теплопередача. Основные критерии подобия и их физический смысл
3	9	Теплопроводность. Уравнение сохранения энергии, закон Фурье, краевые условия задач теплопроводности. Механизм теплопроводности веществ в твердом (кристаллическом и аморфном), жидком и газообразном состояниях. Теплопроводность через плоскую стенку. Число Био. Коэффициент теплопередачи. Теплопроводность через цилиндрическую стенку, критический диаметр изоляции
3	9	Конвективный теплообмен в однокомпонентной среде. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошной среде. Теплообмен при внешнем обтекании тела. Переход ламинарного течения в турбулентное, влияние на турбулентный переход параметров набегающего потока, массовых сил, характеристик обтекаемой поверхности. Осредненные уравнения движения и энергии для турбулентного течения. Структура пристенной турбулентной области. Конвективный теплообмен при высоких скоростях течения. Адиабатическая температура стенки, коэффициент восстановления, методы расчета теплоотдачи. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра и пучков труб
3	9	Теплообмен при свободной конвекции. Механизм и математическое описание, приближение Буссинеска. Развитие пограничного слоя на вертикальной плоской поверхности, расчет коэффициента теплоотдачи. Свободная конвекция на поверхности горизонтального цилиндра

		и сферы
4	9	Теплообмен при течении жидкости в каналах. Математическое описание, среднемассовая скорость и температура. Стабилизированный теплообмен при граничных условиях 2-го рода. Профили скорости, температуры, теплового потока при ламинарном и турбулентном течении, интеграл Лайона. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в начальном термическом участке круглой трубы. Начальный гидродинамический участок
5	9	Теплообмен при фазовых превращениях. Математическое описание и модели двухфазных сред. Кипение жидкостей. Условия зарождения парового зародыша в объеме перегретой жидкости и на твердой поверхности нагрева. Основные закономерности роста и отрыва паровых пузырьков. «Кривая кипения». Теплообмен при пузырьковом кипении в большом объеме, теплообмен при пленочном кипении. Кризисы кипения в большом объеме. Режимы течения двухфазных потоков в трубах. Характер изменения среднемассовой температуры жидкости, температуры стенки, расходного массового паросодержания по длине обогреваемого канала. Кипение жидкости, недогретой до температуры насыщения. Кризис теплоотдачи при кипении в трубах
5	9	Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при пленочной конденсации на вертикальной поверхности: решение Нуссельта, анализ основных допущений
5	9	Теплообмен излучением. Основные понятия и законы излучения. Природа излучения. Интегральная и спектральная плотности потока излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел. Абсолютно черное тело. Законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта). Излучение реальных тел. Геометрия излучения (локальные и средние угловые коэффициенты)
6	9	Теплофизические свойства теплоносителей ядерных реакторов
6	9	Современные теплообменные системы: парогенераторы тепловых электрических станций, ядерные энергетические реакторы
6	9	Основы теплофизического эксперимента
6	9	Методы компьютерного моделирования динамики жидкости

		и теплообмена
--	--	---------------

4.2.2 Содержание семинаров и (или) практических занятий

№ темы	Всего часов	Содержание разделов дисциплины
1	2	3
1	9	Решение задач по термодинамике
2	9	Решение задач по тепло и массообмену
3	9	Основы расчёта теплообменных аппаратов
4	9	Основы теплогидравлического расчёта активных зон ядерных реакторов
5	9	Методы компьютерного моделирования динамики жидкости и теплообмена
6	9	Основы теплофизического эксперимента

5. Образовательные технологии

1. При реализации настоящей дисциплины предусмотрено применение следующих образовательных технологий: лекции-визуализации (все лекции сопровождаются презентациями), проблемные лекции с дискуссией (на каждой лекции рассматриваются проблемные вопросы по актуальным направлениям развития предмета).

2. В учебном процессе помимо чтения лекций широко используются активные и интерактивные формы. Совместное и самостоятельное решение аспирантами задач по темам лекций на занятиях семинарского типа, самостоятельное изучение предложенных тем и выступление с докладами на занятиях.

В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

№ темы	Всего часов	Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Литература
1	2	3	4
1	8	Обратимые и необратимые процессы	1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. Издание 4-е. М.: Энергоатомиздат, 1983. 2. Базаров И.П. Термодинамика. Издание 2-е. – М.: Высшая школа, 1976. 3. Новиков И.И. Термодинамика. – М.: Машиностроение, 1984. 4. Шпильрайн Э.Э., Кессельман П.М. Основы теории теплофизических свойств веществ. – М.: Энергия, 1977.
1	8	Формулировка второго закона термодинамики	
1	8	Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики	
1	8	Термические и калорические свойства реальных газов и влажного воздуха	
1	8	Политропные процессы	
2	11	Регенерация теплоты в цикле	
3	8	Проблемы и особенности процессов теплообмена в ядерной энергетике	
3	8	Нестационарное температурное поле в плоской пластине, регулярный режим охлаждения (нагрева) тел	
3	8	Метод перемножения решений	
3	8	Свободная конвекция в замкнутых объёмах	
4	11	Стабилизированный теплообмен при ламинарном течении. Стабилизированный теплообмен при турбулентном течении	
5	8	Неравновесность на межфазных границах, квазиравновесное приближение	
5	8	Конденсация на	

		поверхности горизонтального цилиндра	
5	8	Конденсация движущегося пара	1. Кириллов П.Н., Богословский Г.П. Теплообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Энергоатомиздат, 2000. 2. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Атомиздат, 1979. – 415 с. 3. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Энергоатомиздат, 1986. 4. Лабунцов Д.А., Ягов В.В. механика двухфазных сред. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. 5. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. 6. Тепло-и массообмен теплотехнический эксперимент / Справочник / Под общ. Ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. М.: Энергоатомиздат, 1982. – 518 с.
5	8	Качественные закономерности капельной конденсации	
5	8	Зональный метод расчета теплообмена в системе тел, разделенных прозрачной средой	
5	8	Универсальные условия совместности на межфазных границах	
5	8	Специальные условия совместности для процессов тепло- и массообмена	
5	8	Радиационные свойства реальных материалов	
5	8	Теплообмен излучением в диатермичной среде	
6	8	Теплообменные аппараты: рекуперативные, регенеративные, смесительные	
6	8	Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средний температурный напор	
6	8	Расчет поверхности теплообмена, конечной температуры теплоносителей	
6	8	Основы гидравлического расчета теплообменников. Определение мощности, затрачиваемой на прокачку теплоносителей	

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом семинарском занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий,

активность аспирантов, выполнение контрольных работ (контрольные работы рассчитаны на 10-15 мин.).

Примеры контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины (работы состоят из контрольных вопросов, тестовых заданий и задач).

Примеры контрольных вопросов:

1. Основные критерии подобия и их физический смысл.
2. Законы идеального газа.
3. Первый закон термодинамики.
4. Закон сохранения и превращения энергии.
5. Внутренняя энергия и внешняя работа.
6. Энтальпия.
7. Уравнение первого закона термодинамики.
8. Второй закон термодинамики.
9. Обратимые и необратимые процессы.
10. Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы.
11. Гомогенные и гетерогенные термодинамические системы.
12. Термодинамическое равновесие.
13. Условия фазового равновесия.
14. Фазовые переходы.
15. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
16. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
17. Термические и калорические свойства реальных газов и влажного воздуха.
18. Уравнение состояния реальных газов.
19. Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов и в критической точке.
20. Изохорный процесс.
21. Изобарный процесс.
22. Изотермический процесс.

23. Политропные процессы.
24. Процессы истечения газов и жидкостей. Сопло, диффузор.
25. Полное и статическое давление. Уравнение Бернулли.
26. Число Маха.
27. Показатель адиабаты.
28. Термодинамические циклы.
29. Термический КПД.
30. Циклы Карно, Отто, Дизеля, Брайтона, Ренкина.
31. Уравнение сохранения энергии, закон Фурье, краевые условия задач теплопроводности.
32. Механизм теплопроводности веществ в твердом (кристаллическом и аморфном), жидком и газообразном состояниях.
33. Теплопроводность через плоскую стенку.
34. Число Био.
35. Коэффициент теплопередачи.
36. Теплопроводность через цилиндрическую стенку, критический диаметр изоляции.
37. Нестационарное температурное поле в плоской пластине, регулярный режим охлаждения (нагрева) тел.
38. Конвективный теплообмен в однокомпонентной среде.
39. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошной среде.
40. Теплообмен при внешнем обтекании тела.
41. Осредненные уравнения движения и энергии для турбулентного течения.
42. Структура пристенной турбулентной области.
43. Конвективный теплообмен при высоких скоростях течения.
44. Адиабатическая температура стенки, коэффициент восстановления.
45. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра и пучков труб.

46. Решение задач по тепло и массообмену.
47. Теплообмен при течении жидкости в каналах.
48. Математическое описание, среднемассовая скорость и температура.
49. Стабилизированный теплообмен при граничных условиях 2-го рода.
50. Профили скорости, температуры, теплового потока при ламинарном и турбулентном течении, интеграл Лайона.
51. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в начальном термическом участке круглой трубы.
52. Начальный гидродинамический участок.
53. Стабилизированный теплообмен при ламинарном течении.
54. Стабилизированный теплообмен при турбулентном течении.
55. Теплообмен при свободной конвекции.
56. Механизм и математическое описание, приближение Буссинеска.
57. Развитие пограничного слоя на вертикальной плоской поверхности, расчет коэффициента теплоотдачи.
58. Свободная конвекция на поверхности горизонтального цилиндра и сферы.
59. Свободная конвекция в замкнутых объёмах.
60. Математическое описание и модели двухфазных сред.
61. Условия зарождения парового зародыша в объеме перегретой жидкости и на твердой поверхности нагрева.
62. Основные закономерности роста и отрыва паровых пузырьков.
63. Кривая кипения.
64. Теплообмен при пузырьковом кипении в большом объеме, теплообмен при пленочном кипении.
65. Кризисы кипения в большом объеме.
66. Режимы течения двухфазных потоков в трубах.
67. Характер изменения среднемассовой температуры жидкости, температуры стенки, расходного массового паросодержания по длине обогреваемого канала.

68. Кипение жидкости, недогретой до температуры насыщения.
69. Кризис теплоотдачи при кипении в трубах.
70. Универсальные условия совместности на межфазных границах.
71. Неравновесность на межфазных границах, квазиравновесное приближение.
72. Пленочная и капельная конденсация.
73. Теплообмен при пленочной конденсации на вертикальной поверхности: решение Нуссельта, анализ основных допущений.
74. Конденсация на поверхности горизонтального цилиндра.
75. Конденсация движущегося пара.
76. Качественные закономерности капельной конденсации.
77. Теплообмен излучением. Природа излучения.
78. Интегральная и спектральная плотности потока излучения.
79. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел.
80. Абсолютно черное тело.
81. Законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта).
82. Излучение реальных тел.
83. Радиационные свойства реальных материалов.
84. Теплообмен излучением в диатермичной среде.
85. Геометрия излучения (локальные и средние угловые коэффициенты).
86. Зональный метод расчета теплообмена в системе тел, разделенных прозрачной средой.
87. Теплофизические свойства теплоносителей ядерных реакторов.
88. Современные теплообменные системы: парогенераторы тепловых электрических станций, ядерные энергетические реакторы.
89. Теплообменные аппараты: рекуперативные, регенеративные, смесительные.

90. Средний температурный напор.

Промежуточная аттестация проводится на 9 неделе путем подведения итогов контрольных работ, написанных на состоявшихся лекциях.

Итоговый контроль – экзамен (КЭ).

Примеры вопросов к экзамену:

1. КПД тепловой машины. КПД цикла Карно. Теорема Карно.
2. Различные формы записи уравнения состояния идеального газа. Уравнение адиабаты идеального газа. Работа, совершаемая идеальным газом при политропическом и адиабатическом процессе. Физический смысл энтропии идеального газа.
3. Сила и плотность тока. Закон Ома и закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах. Мощность тока. Удельная тепловая мощность тока.
4. Экспериментальные законы теплового излучения (Стефана-Больцмана, Вина).
5. Емкость. Конденсаторы. Емкость плоского конденсатора. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля. Плотность энергии
6. Эффект Доплера для звуковых и электромагнитных волн.
7. Линейное дифференциальное уравнение произвольного порядка с постоянными коэффициентами. Методы его решения.
8. Понятие матрицы. Определитель матрицы и его вычисление.
9. Понятие первообразной функции. Вычисление неопределенных и определенных интегралов, в том числе несобственных.
10. Понятие производной функции. Основные правила дифференцирования функций. Нахождение экстремумов функции.
11. Понятие числового ряда. Признаки сходимости числовых рядов. Разложение функции в ряд Тейлора.

12. Система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Методы решения СЛАУ: метод Гаусса, метод Крамера. Критерий существования нетривиального решения системы однородных линейных алгебраических уравнений.

13. Система линейных дифференциальных уравнений первого порядка. Методы её решения.

14. Вязкостный режим течения. Понятие о пограничном слое. Уравнения ламинарного пограничного слоя.

15. Двухфазный поток, истинное объемное паросодержание, режимы течения восходящего двухфазного потока.

16. Законы термодинамики. Термодинамические функции.

17. Конвективный теплообмен. Теплообмен в ламинарном пограничном слое.

18. Кризис теплообмена при кипении жидкости в большом объеме и каналах.

19. Кризис теплоотдачи. Запасы до кризиса. Влияние на величину критического теплового потока параметров теплоносителя при течении в трубе.

20. Механизмы теплообмена в однофазном и двухфазном потоках. Соотношения для коэффициентов теплоотдачи для различных режимов течения.

21. Перепад давления в двухфазном потоке.

22. Теплообмен при кипении. Кривая кипения.

23. Термическое уравнение состояния. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса.

24. Уравнение Навье-Стокса. Виды гидравлических сопротивлений.

25. Уравнения Рейнольдса осредненного турбулентного движения. Полуэмпирическая теория турбулентности Прандтля. Универсальный профиль скорости для течений вблизи гладких и шероховатых поверхностей. Ламинарный и турбулентный профили скорости в трубе.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

I. Основная литература:

1. Кириллов, П.Н., Богословский, Г.П. Теплообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 548 с. – ISBN 5-7046-0843-4.

2. Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Атомиздат, 1979. – 415 с.

3. Кириллин, В.А., Сычев, В.В., Шейндлин, А.Е. Техническая термодинамика. Издание 4-е. М.: Энергоатомиздат, 1983. – Текст: электронный. DOI отсутствует. – URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.nep-plus.ru/images/textbk/kirillin.pdf> (дата обращения: 28.09.2022).

4. Петухов, Б.С., Генин, Л.Г., Ковалев, С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 470 с.

5. Кутепов, А.М., Стерман, Л.С., Стюшин, Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. Издание 3-е. – М.: Высшая школа, 1986. – 447 с.

6. Теория и техника теплофизического эксперимента / Справочник / Под общ. Ред. В.К. Щукина – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 181 с.

7. Тепло-и массообмен теплотехнический эксперимент / Справочник / Под общ. Ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. М.: Энергоатомиздат, 1982. – 518 с.

II. Дополнительная литература:

1. Базаров, И.П. Термодинамика. Издание 2-е. – М.: Высшая школа, 1976. – 447 с.

2. Гавра, Т.Г., Михайлов, П.М., Рис, В.В. Тепловой и гидравлический расчёт теплообменных аппаратов компрессорных установок. – Л.: Изд-во ЛПИ, 1982. – Текст: электронный. DOI отсутствует. – URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.nep-plus.ru/images/textbk/kirillin.pdf>

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://thermalinfo.ru/Sets/bibl_files/Gavra_teplovoj_i_gidravlicheskiy_raschet_teploobmennyykh_apparatorov.pdf (

3. Жуковский, В.С. Основы теории теплопередачи. Издание 2-е. – Л.: Энергия, 1969. – 223 с.

4. Иванов, А.Е., Иванов, С.А. Механика. Молекулярная физика и термодинамика: учебное пособие, КНОРУС, 2012. – 949 с. – ISBN 978-5-406-00525-5.

5. Иродов И.Е. Задачи по общей физике: Учеб. пособие для вузов. – М.: Наука, 1988. - 416 с. – ISBN 5-02-013849-5.

6. Ковальчук, М.В. Идеология природоподобных технологий / Михаил Ковальчук; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». – Москва: Физматлит, 2021. – ISBN 978-5-9221-1931-3.

7. Кузнецов, Ю.Н. Теплообмен в проблеме безопасности ядерных реакторов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 296 с. – ISBN 5-283-03743-6.

8. Лабунцов, Д.А., Ягов В.В. Механика двухфазных сред. – М.: Изд-во МЭИ, 2007. – 383 с. - ISBN 978-5-383-00036-6.

9. Новиков, И.И. Термодинамика. – М.: Машиностроение, 1984. – 592 с.

10. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.

11. Теоретическая механика. Термодинамика. Теплообмен. / Энциклопедия. Машиностроение. Т. 1-2 / Под общ. Ред. К.К. Колесникова, А.И. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1999. – Текст: электронный. DOI отсутствует. – URL: <https://booktech.ru/books/tmm/11716-mashinostroenie-enciklopediya-t-1-2-teoreticheskaya-mehanika-1999-k-s-kolesnikov.html> (дата обращения: 29.09.2022).

12. Теория тепломассообмена. / Под ред. А.И. Леонтьева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – 683 с. – ISBN 5-7038-1265-8.

13. Чиркин, В.С. Тепло-физические свойства материалов ядерной техники. – М.: Атомиздат, 1968. – 484 с.

14. Шпильрайн, Э.Э., Кессельман, П.М. Основы теории теплофизических свойств веществ. – М.: Энергия, 1977. – 248 с.

III. Перечень ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

1. Фонд знаний «Ломоносов»: [сайт]. URL: <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01270:article>

2. Словари и энциклопедии на Академике: [сайт]. – URL: <https://dal.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/695372>

IV. Доступ к электронным библиотекам:

1. Онлайн-каталог DOAJ: [сайт]. – URL: <https://doaj.org/> (дата обращения: 28.06.2022).

2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [сайт]. – URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.07.2022).

3. Сервер документов ЦЕРН: [сайт]. – URL: <https://cds.cern.ch/> (дата обращения: 30.07.2022).

4. Открытый доступ к журналам по физике и астрономии Physics related free-access Journals: [сайт]. – URL: <https://www.elsevier.com/physical-sciences-and-engineering/physics-and-astronomy/journals/open-access-in-physics-journals> (дата обращения: 30.07.2022).

5. Большая научная библиотека: [сайт]. – URL: <http://www.scilib.net/> (дата обращения: 12.08.2022).

6. Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов: [сайт]. – URL: <https://www.dissercat.com/> (дата обращения: 12.08.2022).

7. Электронная библиотека механико-математического факультета Московского государственного университета: [сайт]. – URL: <http://lib.mexmat.ru/index.php> (дата обращения: 12.08.2022).

8. Электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> (дата обращения: 12.08.2022).

9. Вестник РФФИ: [сайт]. –
URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/bulletin> (дата обращения: 30.08.2022).

10. Книги, изданные при поддержке РФФИ: [сайт]. –
URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books> (дата обращения: 30.08.2022).

IV. Доступ к журналам и базам публикаций различных научных издательств:

1. Электронный доступ к коллекции из 15 журналов базы данных компании Американского физического общества (APS). База данных APS содержит журналы по ядерной физике, физике высоких энергий, астрофизике, математической физике, механике и др.: [сайт]. –
URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Электронный доступ к коллекции из 17 журналов базы данных компании AIP Publishing LLC (AIP). Тематические рубрики изданий включают основные разделы физики и смежных областей знания: [сайт]. –
URL: <https://www.aip.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Электронный доступ и использование баз данных журналов компании IOP PUBLISHING LIMITED: База данных журнала Nuclear Fusion: [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

4. Электронный доступ к журналам и книгам издательства Elsevier на платформе ScienceDirect. Коллекция журналов Complete Freedom Collection: [сайт]. – URL: <http://info.sciencedirect.com/techsupport/journals/freedomcoll.htm> (дата обращения: 12.09.2022).

5. Электронный доступ к журналам, книгам и базам данных издательства Springer_Nature: [сайт]. –
URL: <https://www.springernature.com/gp> (дата обращения: 12.09.2022).

6. Электронный доступ к базе данных Cambridge Crystallographic Data Centre. База данных Кембриджского центра структурных данных CSD-Enterprise содержит данные о строении кристаллических органических и элементарноорганических соединений (800 000 структур, он-лайн и офф-лайн

версии), комплекс программ для работы с ними для биологов, химиков и кристаллографов: [сайт]. – URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/> (дата обращения: 12.09.2022).

V. Электронный доступ к следующим изданиям:

1. Web of Science (авторитетная политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая (библиометрическая) база данных: [сайт]. – URL: <https://webofknowledge.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Scopus (мультидисциплинарная библиографическая и реферативная база данных и инструмент для отслеживания цитируемости статей, опубликованных в научных изданиях): [сайт]. – URL: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Коллекция журналов Wiley (более 1600 изданий) с глубиной архива с 1997 г. по текущий момент: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 25.09.2022).

4. Science (один из самых авторитетных научных журналов Американской ассоциации содействия развитию науки): [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 17.09.2022).

5. Institute of Physics (охватывает три направления области физики: образование, исследования и разработки): [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 15.08.2022).

6. Электронный доступ к архивам научных журналов: Annual Reviews: [сайт]. – URL: <https://www.annualreviews.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

7. Cambridge University Press: [сайт]. – URL: <https://www.cambridge.org/core> (дата обращения: 21.06.2022).

8. Nature: [сайт]. – URL: <https://www.nature.com/> (дата обращения: 13.08.2022).

9. Oxford University Press: [сайт]. – URL: <https://global.oup.com/?cc=ru> (дата обращения: 12.09.2022).

10. SAGE Publications: [сайт]. – URL: <https://us.sagepub.com/en-us/nam/home> (дата обращения: 03.09.2022).

11. Science Magazine: [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 14.09.2022).

12. Springer Journals Archiv с 1832 - 1996 гг.: [сайт]. – URL: <https://link.springer.com/> (дата обращения: 22.08.2022).

13. Taylor&Francis: [сайт]. – URL: <https://taylorandfrancis.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

14. Wiley: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. При освоении дисциплины необходимы стандартная учебная аудитория с доской, ноутбук, мультимедийный проектор, экран. Аспирантам должен быть обеспечен доступ к сети Интернет и свободный доступ к библиотеке периодических изданий по предмету (в том числе и к электронным изданиям).

2. Лекции проводятся в стандартной аудитории, оснащенной в соответствии с требованиями преподавания теоретических дисциплин.

3. На всех аудиторных занятиях используются средства визуализации учебного материала: мультимедийное оборудование (проектор, ноутбук, экран, презентер), презентации лекций.