

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ТЕРМОДИНАМИКА

Направление подготовки 03.03.02–Физика

Направленность: Физика

Квалификация выпускника: Бакалавр

Кострома 2023

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

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

Рецензент: Жиров Александр Владимирович, доцент кафедры общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

УТВЕРЖДЕНО:

Заведующий кафедрой общей и теоретической физики

Шадрин Сергей Юрьевич к.т.н, доцент

Протокол заседания кафедры № 6 от 27 февраля 2023 г.

1. Цели и задачи освоения дисциплины

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

В результате изучения учебной дисциплины «Термодинамика» обучаемые должны приобрести общепрофессиональную компетенцию:

– способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности (ОПК-1)

Задачи дисциплины:

– на базе термодинамического описания ввести основные понятия и выявить взаимосвязи, основанные на наиболее общих законах природы;

– на базе математических методов и моделей макроскопических сред развить статистический метод исследования;

– провести термодинамическое соответствие результатов, полученных статистическими методами;

– изучить методы описания неравновесных систем, дать представление об основах кинематики процессов выравнивания и структурных явлениях в потоках.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

В результате изучения дисциплины «Термодинамика» обучаемые должны

Освоить компетенцию:

ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.

Код и содержание индикаторов компетенции

ОПК-1.3.:Использует базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать

– основы фундаментальных разделов общей и теоретической физики, в частности, иметь устойчивое знание основных законов и методов термодинамики, квазистатических и нестатических процессов, условий равновесия и устойчивости, теории фазовых переходов, основных представлений статистической механики, распределений Гиббса, теории идеальных бозе- и ферми газов, теории флуктуаций, броуновского движения и случайных процессов, основ термодинамической теории необратимых процессов, кинетических уравнений статистической физики, необходимых для адекватного теоретического описания физических систем;

– приемы использования информационно-коммуникационных технологий для решения задач профессиональной деятельности, в частности интернет-ресурсы, отражающие состояние изученности проблем статистической физики.

уметь

– использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики, в частности, интерпретировать формальные записи имеющихся математических объектов для задания физических моделей природных явлений, выделять в этих моделях физическое содержание и границы применимости;

– решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры, в частности уметь самостоятельно

разработать стратегию поиска необходимой научной информации, а также индивидуальный план освоения дополнительного материала.

владеть

– методами и приемами интерпретации полученных результатов с учетом границ применимости моделей, в частности методами работы с термодинамическими системами и статистическими ансамблями, необходимыми для описания рассматриваемых термодинамических процессов и физических явлений.

– методами и приемами решения стандартных задач профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий, в частности навыками работы в компьютерных сетях, средствами получения информации из различных источников.

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Дисциплина «Термодинамика» изучается в седьмом семестре и входит в базовую часть Блока 1 образовательной программы подготовки бакалавров физики. Содержание дисциплины можно представить в виде двух больших блоков: термодинамика и статистическая физика. К вопросам, составляющим основное содержание курса, относятся: описание условий равновесия и устойчивости термодинамических систем, теории фазовых переходов, основных представлений статистической механики, распределений Гиббса, теории идеальных бозе- и ферми газов, теории флуктуаций, броуновского движения и случайных процессов, основ термодинамической теории необратимых процессов,.

Изучаемый материал подобран в соответствии с особенностями основной образовательной программы бакалавров физиков и имеет большую практическую направленность, основная часть практических приложений подобрана с расчетом на другие дисциплины курса теоретической физики.

Перед изучением дисциплины «Термодинамика» обучающийся должен иметь представления об атомно-молекулярном строении вещества, эмпирических законах, скалярных и векторных величинах, линейных пространствах, фазовом пространстве, операциях с матрицами, дифференциальном и интегральном исчислении. Требуемые компетенции формируются в рамках дисциплин «Математический анализ», «Векторный и тензорный анализ», «Молекулярная физика», «Квантовая теория».

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для курсов по выбору «Физика поверхности» и «Основы теплопроводности твердых тел».

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	4
Общая трудоемкость в часах	144
Аудиторные занятия в часах, в том числе:	90
Лекции	58
Практические занятия	32
Лабораторные занятия	–
Самостоятельная работа в часах	54
Контроль	36
Форма промежуточной аттестации	Экзамен 7 семестр

4.2. Объем контактной работы на 1 обучающегося

Виды учебных занятий	Очная форма
Лекции	58
Практические занятия	32
Лабораторные занятия	–
Консультации	2
Зачет/зачеты	–
Экзамен/экзамены	0.35
Курсовые работы	–
Курсовые проекты	–
Всего	92,35

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 положения статистической физики	14	8	4		2
2	Законы термодинамики	20	10	6		4
3	Каноническое распределение Гиббса	14	8	4		2
4	Свойства идеальных и реальных газов	16	8	6		2
5	Фазовое равновесие и фазовые переходы	8	4	2		2
6	Квантовая статистика систем, состоящих из одинаковых частиц	14	8	4		2
7	Элементы теории флуктуаций	8	4	2		2
8	Основы кинетики	14	8	4		2
9	Экзамен	36				36
	Итого:	144	58	32		54

5.2. Содержание:

Тема 1. Основные положения статистической физики

Макроскопические системы и процессы. Основы теории вероятностей. Функция распределения в фазовом пространстве. Теорема Лиувилля. Статистическое распределение и законы сохранения. Канонический ансамбль Гиббса. Микроканоническое распределение

в классической статистике. Микроканоническое распределение в квантовой статистике. Статистический вес. Энтропия.

Тема 2. Законы термодинамики

Термодинамические величины. Внутренняя энергия системы. Первый закон термодинамики. Второй закон термодинамики. Термодинамическое определение температуры. Максимальная работа процессов. Термодинамические функции и их свойства. Химический потенциал. Теорема Нёрнста.

Тема 3. Каноническое распределение Гиббса

Распределение Гиббса в квантовой статистике. Получение термодинамических соотношений из распределения Гиббса. Распределение Гиббса для систем с переменным числом частиц

Тема 4. Свойства идеальных и реальных газов

Статистика Больцмана для разреженных идеальных газов. Распределение Максвелла. Идеальный газ во внешнем поле. Барометрическая формула. Энтропия и свободная энергия идеального газа. Закон равнораспределения классической статистики. Теория теплоёмкости идеальных газов. Уравнения Ван-дер-Ваальса и Дитеричи.

Тема 5. Фазовое равновесие и фазовые переходы

Условия равновесия фаз. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Температурная зависимость давления насыщенного пара. Критическая точка. Равновесие трёх фаз чистого вещества. Тройная точка. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы второго рода.

Тема 6. Квантовая статистика систем, состоящих из одинаковых частиц

Принцип тождественности частиц. Статистики Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Критерий вырождения. Общие свойства газов, состоящих из бозонов и фермионов. Вырожденный электронный газ. Явления конденсации в вырожденном Бозе-газе. Фотонный газ.

Тема 7. Элементы теории флуктуаций

Распределение Гаусса. Флуктуации основных термодинамических величин. Условия устойчивого состояния. Броуновское движение.

Тема 8. Основы кинетики

Обсуждаемые вопросы: Термодинамические силы и потоки. Теорема Онсагера. Кинетическое уравнение Больцмана. H-теорема Больцмана. Уравнение Смолуховского. Уравнение Фоккера-Планка. Броуновское движение. Коэффициенты переноса.

6. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

Курс «Термодинамика» предназначен для студентов института физико-математических и естественных наук направления подготовки «Физика». Для усвоения излагаемого материала от слушателей требуется умение дифференцировать, интегрировать и знание основных положений курса молекулярной физики.

В данном курсе представлены необходимые сведения по термодинамике, статистической физике и элементам физической кинетики. По окончании курса студент должен иметь устойчивое знание основных законов и методов термодинамики, квазистатических и нестатических процессов, условий равновесия и устойчивости, теории фазовых переходов, основных представлений статистической механики, канонических распределений Гиббса, теории идеальных бозе- и ферми газов, теории флуктуаций,

броуновского движения и случайных процессов, основ термодинамической теории необратимых процессов, кинетических уравнений статистической физики. По завершении курса «Термодинамика», студент должен уметь на этой основе проводить необходимые расчеты физических характеристик систем и давать им физическую интерпретацию.

Курс снабжен необходимым количеством прикладных задач прикладного физического характера, способствующих лучшему усвоению понятий и методов термодинамики, статистической физики и физической кинетики. Термодинамика – это одна из основополагающих дисциплин цикла подготовки. В курсе рассматриваются также элементы теории вероятностей и статистической физики – математический аппарат, с помощью которого не только сокращаются многосистемные выкладки, но и концентрируется физическая идея, так как использование теории вероятностей и статистической физики позволяет отодвинуть на второй план сложную целостную картину физического явления.

Цель данного курса состоит в становлении профессионального уровня подготовки бакалавра, обеспечение необходимыми знаниями и развитие практических навыков работы с положениями и выводами классической и прикладной термодинамики, с основными математическими объектами термодинамических систем, теории вероятностей и статистической физики.

Задачами изучения курса являются: закрепить и развить знания, умения и приемы, полученные при усвоении курсов, на которые опирается данная дисциплина. В частности, на базе термодинамического описания ввести основные понятия и выявить взаимосвязи, основанные на наиболее общих законах природы. На базе математических методов и моделей макроскопических сред, развить статистический метод исследования, провести термодинамическое соответствие результатов, полученных статистическими методами. Изучить методы описания неравновесных систем, дать представление об основах кинематики процессов выравнивания и структурных явлениях в потоках.; подготовить исходный уровень знаний и навыков, необходимых для успешного выполнения выпускной квалификационной работы, прохождения итоговой аттестации, дальнейшего обучения в магистратуре и т.д.

6.1. Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Задание	Часы	Методические рекомендации по выполнению задания	Форма контроля
1	Основные положения статистической физики	Индивидуальные задания из списка, приведенного ниже	2	Использовать материалы семинаров по «Термодинамике» и источники [1–3] из списка основной литературы	Тест, контрольные работы, опрос
2	Законы термодинамики и	Индивидуальные задания из списка, приведенного ниже	4	Использовать материалы семинаров по «Термодинамике» и источники [1–3] из списка основной литературы	Тест, контрольные работы, опрос
3	Каноническое распределение Гиббса	Индивидуальные задания из списка, приведенного ниже	2	Использовать материалы семинаров по «Термодинамике» и источники [1–3] из списка основной литературы	Тест, контрольные работы, опрос

				литературы	
4	Свойства идеальных и реальных газов	Индивидуальные задания из списка, приведенного ниже	2	Использовать материалы семинаров по «Термодинамике» и источники [1–3] из списка основной литературы	Тест, контрольные работы, опрос
5	Фазовое равновесие и фазовые переходы	Индивидуальные задания из списка, приведенного ниже	2	Использовать материалы семинаров по «Термодинамике» и источники [1–3] из списка основной литературы	Тест, контрольные работы, опрос
6	Квантовая статистика систем, состоящих из одинаковых частиц	Индивидуальные задания из списка, приведенного ниже	2	Использовать материалы семинаров по «Термодинамике» и источники [1–3] из списка основной литературы	Тест, контрольные работы, опрос
7	Элементы теории флуктуаций	Индивидуальные задания из списка, приведенного ниже	2	Использовать материалы семинаров по «Термодинамике» и источники [1–3] из списка основной литературы	Тест, контрольные работы, опрос
8	Основы кинетики	Индивидуальные задания из списка, приведенного ниже	2	Использовать материалы семинаров по «Термодинамике» и источники [1–3] из списка основной литературы	Тест, контрольные работы, опрос
9	Подготовка к экзамену	Решение задания, ответы на вопросы к зачету	2	Использовать материалы семинаров по «Термодинамике» и источники [1–3] из списка основной литературы и [1–5] из списка дополнительной литературы	Вопросы к экзамену

6.2. Тематика и задания для практических занятий

Ниже приведены примерные планы практических занятий. Номера задач даны по учебному пособию Ефремов, Ю. С. Статистическая физика и термодинамика : учебное пособие. – М.–Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 208 с. ISBN 978-5-4475-4620-5.

Семинары 1–2.

Тема: Основные положения статистической физики

Задачи для разбора с преподавателем: 1 –.5 (стр. 38 – 41 из [2]).

Задачи для самостоятельной работы: 1 –.10 (стр. 41 – 42 из [2]).

Обсуждаемые вопросы: Макроскопические системы и процессы. Основы теории вероятностей. Функция распределения в фазовом пространстве. Теорема Лиувилля.

Статистическое распределение и законы сохранения. Канонический ансамбль Гиббса. Микроканоническое распределение в классической статистике. Микроканоническое распределение в квантовой статистике. Статистический вес. Энтропия.

Семинары 3–4.

Тема: Законы термодинамики

Задачи для разбора с преподавателем: 1 –.5 (стр. 60 – 63 из [2]).

Задачи для самостоятельной работы: 1 –.10 (стр. 63 – 64 из [2]).

Обсуждаемые вопросы: Термодинамические величины. Внутренняя энергия системы. Первый закон термодинамики. Второй закон термодинамики. Термодинамическое определение температуры. Максимальная работа процессов. Термодинамические функции и их свойства. Химический потенциал. Теорема Нёрста.

Семинары 5–6.

Тема: Каноническое распределение Гиббса

Задачи для разбора с преподавателем: 1 –.5 (стр. 73 – 77 из [2]).

Задачи для самостоятельной работы: 1 –.10 (стр. 77 – 78 из [2]).

Обсуждаемые вопросы: Распределение Гиббса в квантовой статистике. Получение термодинамических соотношений из распределения Гиббса. Распределение Гиббса для систем с переменным числом частиц

Семинары 7–8.

Тема: Свойства идеальных и реальных газов

Задачи для разбора с преподавателем: 1 –.5 (стр. 116 – 124 из [2]).

Задачи для самостоятельной работы: 1 –.10 (стр. 124 – 125 из [2]).

Обсуждаемые вопросы: Статистика Больцмана для разреженных идеальных газов. Распределение Максвелла. Идеальный газ во внешнем поле. Барометрическая формула. Энтропия и свободная энергия идеального газа. Закон равнораспределения классической статистики. Теория теплоёмкости идеальных газов. Уравнения Ван-дер-Ваальса и Дитеричи.

Семинар 9.

Тема: Фазовое равновесие и фазовые переходы

Задачи для разбора с преподавателем: 1 –.5 (стр. 143 – 145 из [2]).

Задачи для самостоятельной работы: 1 –.10 (стр. 145 – 146 из [2]).

Обсуждаемые вопросы: Условия равновесия фаз. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Температурная зависимость давления насыщенного пара. Критическая точка. Равновесие трёх фаз чистого вещества. Тройная точка. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы второго рода.

Семинары 10–11.

Тема: Квантовая статистика систем, состоящих из одинаковых частиц

Задачи для разбора с преподавателем: 1 –.5 (стр. 167 – 171 из [2]).

Задачи для самостоятельной работы: 1 –.10 (стр. 171 – 172 из [2]).

Обсуждаемые вопросы: Принцип тождественности частиц. Статистики Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Критерий вырождения. Общие свойства газов, состоящих из бозонов и фермионов. Вырожденный электронный газ. Явления конденсации в вырожденном Бозе-газе. Фотонный газ.

Семинар 12.

Тема: Элементы теории флуктуаций

Задачи для разбора с преподавателем: 1 –.5 (стр. 184 – 187 из [2]).

Задачи для самостоятельной работы: 1 –.10 (стр. 187 – 188 из [2]).

Обсуждаемые вопросы: Распределение Гаусса. Флуктуации основных термодинамических величин. Условия устойчивого состояния. Броуновское движение.

Семинары 13–14.

Тема: Основы кинетики

Задачи для разбора с преподавателем: 1 –.5 (стр. 198 – 203 из [2]).

Задачи для самостоятельной работы: 1 –.10 (стр. 203 – 204 из [2]).

Обсуждаемые вопросы: Термодинамические силы и потоки. Теорема Онсагера. Кинетическое уравнение Больцмана. H-теорема Больцмана. Уравнение Смолуховского. Уравнение Фоккера-Планка. Броуновское движение. Коэффициенты переноса.

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

а) основная

1. Базаров, И. П. Термодинамика : [учеб. для студентов ун-тов, обучающихся по спец. "Физика"]. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1991. – 376 с. (13 экз).

2. Ефремов, Ю. С. Статистическая физика и термодинамика : учебное пособие / Ю. С. Ефремов. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 208 с. ISBN 978-5-4475-4620-5 / https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=428682

3. Базаров, И. П. Задачи по термодинамике и статистической физике : Учеб. пособие для вузов. - М. : Высш. шк. : Физический фак. МГУ, 1997. – 352 с. (12 экз).

б) дополнительная

1. Козырев А.В. Термодинамика и молекулярная физика : Учебное пособие. Томск: Эль Контент, 2012 - 114 с. / https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=208984

2. Зуев А.Ю., Цветков Д.С. Термодинамика и структура твёрдого тела : практикум : Учебное пособие. - Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013. - 128 с. / https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=239717

3. Зеленцов Д.В. Техническая термодинамика : Учебное пособие. Самара: СГАСУ, 2012. – 140 с. / https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=143845

4. Дзю И.М., Викулов С.В., Плетнев П.М., Чечуев В.Я. Физика. Элементы молекулярной физики и термодинамики: учебное пособие/ Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2013 - 141 с. / https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=230539

5. Кудасова С. В., Солодихина М. В. Курс лекций по общей физике: учебное пособие для бакалавров, Ч. 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Москва, Берлин: Директ-Медиа, 2016 - 174 с. / https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=436995

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

Информационно-образовательные ресурсы:

1. Общероссийский математический портал Math-Net.Ru.

Электронные библиотечные системы:

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

2. «Лань» <http://e.lanbook.com/>

3. ЭБС «Znaniium»

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.

Аннотация		
Наименование дисциплины	Термодинамика	
Направление подготовки	03.03.02–Физика	
Направленность подготовки	Физика	
Трудоемкость дисциплины	Зачетные единицы	Часы
	4	144
Формы контроля	Экзамен	
Цели освоения дисциплины		
подготовка бакалавров физики к научно-исследовательской, научно-инновационной, организационно-управленческой деятельности в научно-исследовательских институтах, лабораториях, конструкторских или проектных бюро, на предприятиях путем формирования соответствующих компетенций.		
Задачи дисциплины		
<ul style="list-style-type: none"> – на базе термодинамического описания ввести основные понятия и выявить взаимосвязи, основанные на наиболее общих законах природы; – на базе математических методов и моделей макроскопических сред развить статистический метод исследования; – провести термодинамическое соответствие результатов, полученных статистическими методами; – изучить методы описания неравновесных систем, дать представление об основах кинематики процессов выравнивания и структурных явлениях в потоках 		
Место дисциплины в структуре ООП		
Дисциплина «Термодинамика» изучается в седьмом семестре и входит в базовую часть Блока 1 образовательной части программы подготовки бакалавров физики.		
Формируемые компетенции		
ОПК-1: способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности		
Требования к уровню освоения содержания дисциплины:		
знать:		
– основы фундаментальных разделов общей и теоретической физики, в частности, иметь устойчивое знание основных законов и методов термодинамики, квазистатических и нестатических процессов, условий равновесия и устойчивости, теории фазовых переходов, основных представлений статистической механики, распределений Гиббса, теории идеальных бозе- и ферми газов, теории флуктуаций, броуновского движения и случайных процессов, основ термодинамической теории необратимых процессов, кинетических уравнений статистической физики, необходимых для адекватного теоретического описания физических систем;		
уметь:		
– использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики, в частности, интерпретировать формальные записи имеющихся математических объектов для задания физических моделей природных явлений, выделять в этих моделях физическое содержание и границы применимости;		
владеть:		

– методами и приемами интерпретации полученных результатов с учетом границ применимости моделей, в частности методами работы с термодинамическими системами и статистическими ансамблями, необходимыми для описания рассматриваемых термодинамических процессов и физических явлений.