

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от
«30» ноября 2022 г. № 13

Рабочая программа дисциплины

Термодинамика

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

01.03.02 Прикладная математика и информатика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Прикладная математика и информатика (общий профиль)

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

Б1.В.07 Термодинамика

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.07 Термодинамика относится к части ООП направления подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика», формируемой участниками образовательных отношений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-13 <i>Способен участвовать в исследовании математических моделей в естественных науках и технике</i>	ПК-13.1. <i>Знает методы создания, анализа и исследования математических моделей в естественных науках и технике</i>	<i>Знает понятия, основные законы и принципы, описывающие физические явления, а также следствия, вытекающие из этих законов и принципов, имеющие теоретическое и прикладное значение;</i> <i>математические методы, используемые для постановки и решения задач термодинамики и статистической физики.</i>	<i>Собеседование</i>
	ПК-13.3. <i>Умеет корректно использовать методы создания, анализа и исследования математических моделей, умеет применять численные и аналитические методы решения базовых</i>	<i>Умеет адекватно описывать физические явления, составлять и анализировать их математические модели, использовать математические методы исследования этих моделей.</i>	<i>Контрольная работа</i>

	<i>математических задач и классических задач естествознания в практической деятельности</i>		
	<i>ПК-13.4. Владеет навыками использования математических методов обработки информации, полученной в результате экспериментальных исследований</i>	<i>Владеет Навыками составления математических моделей, описывающих физические явления в области термодинамики и статистической физики, и методами их решения и анализа.</i>	<i>Контрольная работа</i>

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	85
- занятия лекционного типа	42
- занятия семинарского типа	42
- занятия лабораторного типа- текущий контроль (КСР)	1
самостоятельная работа	23
Промежуточная аттестация – зачет	

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы. Из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Законы термодинамики: Основные понятия. Нулевой закон термодинамики. Первый закон термодинамики.. Второй закон термодинамики. Коэффициент полезного действия общего цикла Карно. Абсолютная термодинамическая шкала температур. Неравенство Клаузиуса для произвольного цикла. Энтропия. Общая формулировка второго закона термодинамики. Направление реальных	26	10	10		20	6

процессов.						
Термодинамические методы и теоремы: Термодинамические потенциалы. Соотношения между производными термодинамических величин. Термодинамическая шкала температуры - практическая реализация. Процесс Джоуля-Томсона. Максимальная работа. Термодинамические неравенств. Принцип Ле-Шателье. Теорема Нернста. Условие равновесия многокомпонентных систем. Правило фаз Гиббса.	26	10	10		20	6
Статистическая физика: Основные принципы статистической физики. Теорема Лиувилля. Микроканоническое распределение. Энтропия (статистическое определение). Распределение Гиббса (каноническое). Свободная энергия в распределении Гиббса. Распределение Максвелла. Термодинамический потенциал омега. Распределение Гиббса с переменным числом частиц (большое каноническое. Распределение Больцмана. Уравнение состояния идеального газа (статистический вывод). Закон равнораспределения энергии по степеням свободы. Распределение Ферми-Дирака. Распределение Бозе - Эйнштейна. Ферми - и бозе-газы элементарных частиц.	34	14	14		28	6
Физическая кинетика: Уравнение теплопроводности. Простейшие стационарные задачи теплопроводности. Нестационарные задачи теплопроводности. Теорема единственности. Принцип суперпозиции температур. Температурные волны. Явления переноса. Вязкость газов. Теплопроводность газов. Диффузия в газах. Явления в разреженных газах.	21	8	8		16	5
Текущий контроль (КСР)	1				1	
Промежуточная аттестация – зачет						
Итого	108	42	42		85	23

Текущий контроль успеваемости реализуется в формах опросов на занятиях семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (зачет).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

а. Виды самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Термодинамика» включает выполнение домашних заданий и подготовку к зачету. Для самоконтроля и подготовки к зачету у студента имеется возможность удаленного доступа к дистанционному лекционному курсу. <http://e-learning.unn.ru/>

Самостоятельная работа заключается в ознакомлении с теоретическим материалом по учебникам, указанным в списке литературы, решении практических задач, подготовке ответов на вопросы самоконтроля. Самостоятельная работа может происходить как в читальном зале библиотеки, так и в домашних условиях.

Для самоконтроля и выполнения домашних заданий используется следующее учебно-методическое пособие:

1. Задания для самостоятельной работы по курсу «Термодинамика». Составители: Грезина А.В., Никифорова И.В., Панасенко А.Г. Учебно-методическое пособие – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. – 42 с. Рег. № 1663.17.06 <http://www.unn.ru/books/resources.html>

Самостоятельная работа под контролем преподавателя направлена на активизацию познавательной деятельности студента и установление «обратной связи» между студентом и преподавателем.

б. Образовательные материалы для самостоятельной работы студентов, практические задания для проведения текущего контроля

1. Физика. Термодинамика и статистическая физика (семестр 8). Электронно-управляемый курс. Грезина А.В., Никифорова И.В., Панасенко А.Г., 2014. <https://e-learning.unn.ru/enrol/index.php?id=786>
2. Задания для самостоятельной работы по курсу «Термодинамика». Составители: Грезина А.В., Никифорова И.В., Панасенко А.Г. Учебно-методическое пособие – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. – 42 с. Рег. № 1663.17.06 <http://www.unn.ru/books/resources.html>

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания,	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами,	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без

	ся от ответа	ошибки.	но не в полном объеме.	полном объеме, но некоторые с недочетами.	некоторые с недочетами.	выполнены все задания в полном объеме.	недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

Критерии оценок выполнения контрольной работы (каждая задача оценивается в 2 балла)

Решена полностью	2
Решена основная часть задачи, или задача решена с недочетами	1,5
Решена задача наполовину	1
Сделан первый этап в решении задачи	0,5
Нет решения	0

Суммарная оценка выполнения контрольной работы

Количество баллов	Оценка
-------------------	--------

4	Отлично
3,5	Очень хорошо
3	Хорошо
2-2,5	Удовлетворительно
0,5-1,5	Неудовлетворительно
0	Плохо

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1 Контрольные вопросы к зачету

<i>вопросы</i>	<i>Код формируемой компетенции</i>
I. Законы термодинамики	
1. Нулевой закон термодинамики	ПК-13
2. Первый закон термодинамики	ПК-13
3. Второй закон термодинамики	ПК-13
4. Коэффициент полезного действия общего цикла Карно. Абсолютная	ПК-13
5. Теплоемкость.	ПК-13
6. Политропические процессы.	ПК-13
7. Неравенство Клаузиуса для произвольного цикла	ПК-13
8. Энтропия	ПК-13
9. Общая формулировка второго закона термодинамики. Направление реальных процессов	ПК-13
II. Термодинамические методы и теоремы	ПК-13
1. Термодинамические потенциалы	ПК-13
2. Соотношения между производными термодинамических величин	ПК-13
3. Термодинамическая шкала температуры - практическая реализация	ПК-13
4. Процесс Джоуля-Томсона	ПК-13
5. Максимальная работа	ПК-13
6. Термодинамические неравенства	ПК-13
7. Принцип Ле-Шателье	ПК-13
8. Теорема Нернста	ПК-13
9. Условие отсутствия конвекции	ПК-13
10. Условие равновесия многокомпонентных систем	ПК-13
11. Правило фаз Гиббса	ПК-13

III. Статистическая физика	
1. Основные принципы статистической физики	ПК-13
2. Теорема Лиувилля	ПК-13
3. Микроканоническое распределение	ПК-13
4. Энтропия (статистическое определение)	ПК-13
5. Распределение Гиббса (каноническое)	ПК-13
6. Свободная энергия в распределении Гиббса	ПК-13
7. Распределение Максвелла	ПК-13
8. Термодинамический потенциал омега	ПК-13
9. Распределение Гиббса с переменным числом частиц (большое каноническое)	ПК-13
10. Распределение Больцмана	ПК-13
11. Уравнение состояния идеального газа (статистический вывод)	ПК-13
12. Закон равнораспределения энергии по степеням свободы	ПК-13
13. Распределение Ферми-Дирака	ПК-13
14. Распределение Бозе-Эйнштейна	ПК-13
15. Ферми- и бозе-газы элементарных частиц	ПК-13
IV. Физическая кинетика	ПК-13
1. Уравнение теплопроводности	ПК-13
2. Простейшие стационарные задачи теплопроводности	ПК-13
3. Нестационарные задачи теплопроводности. Теорема единственности	ПК-13
4. Принцип суперпозиции температур. Температурные волны	ПК-13
5. Явления переноса	ПК-13
6. Вязкость газов	ПК-13

5.2.2. Темы для собеседования для оценки результатов обучения в виде знаний

1. Температура.
2. Реальные газы.
3. Энтропия идеальных газов.
4. Уравнение состояния идеального газа.
5. Ферми- и бозе-газы элементарных частиц.
6. Равновесие фаз.
7. Макроскопическая теория теплопроводности.
8. Температурные волны.
9. Явления переноса в газах. Вязкость газов.
10. Теплопроводность и диффузия в газах.

11. Ультразреженные газы. Эффузия.

5.2.3. Примеры контрольной работы для оценки сформированности компетенции ПК-13

Вариант 1

Задача 1.

Подсчитать, как сильно отличается масса автомобильной шины летом, при $t = 30^\circ\text{C}$, и зимой, при $t = -30^\circ\text{C}$. Давление в шине зимой и летом 3 атм. Объем шины считать неизменным и равным 50 л. Масса одного литра воздуха при нормальных условиях равна 1,29 г/л.

Ответ: $\Delta m = V \rho_0 \frac{p}{p_0} T_0 \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) = 43,05 \text{ г.}$

Задача 2.

Поршневым воздушным насосом откачивают сосуд объемом V . За один цикл (ход поршня) насос захватывает объем ΔV . Через сколько циклов давление в сосуде уменьшится в η раз?

Процесс считать изотермическим, газ - идеальным. Ответ: $n = \frac{\ln \eta}{\ln(1 + \Delta V/V)}$

Вариант 2

Задача 1.

Какое количество тепла надо сообщить азоту при изобарическом нагревании, чтобы газ совершил работу A , равную 2 Дж?

Ответ: $Q = A \frac{\gamma}{\gamma - 1} = 7 \text{ Дж}$

Задача 2.

Определить для ван-дер-ваальсовского газа разность молярных теплоемкостей $C_p - C_v$.

Ответ: $C_p - C_v = R / [1 - 2a(V - b)^2 / RTV^3]$

Ответ: $\frac{v_{He}}{v_{N_2}} = \sqrt{\frac{m_{N_2}}{m_{He}}} = \sqrt{7} \approx 2,65.$

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3-х т. Том 1. Механика. Молекулярная физика: учебное пособие. 15-е изд.- СПб.: Издательство: "Лань", 2019. - 436 с. (доступно в ЭБС «Лань», режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/113944> . — Загл. с экрана.
2. Фейнман Р. Статистическая механика (курс лекций). М.: Мир, 1975.
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/statphys.htm>
3. Базаров И.П. Методологические проблемы статистической физики и термодинамики. М.: Изд-во МГУ, 1979 .
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/thermodynamics.htm>

б) дополнительная литература:

1. Кубо Р. Термодинамика: Современный курс с задачами и решениями. М.: Мир, 1970, - 304 с. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/thermodynamics.htm>
2. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики: Механика. Молекулярная физика. М.: Наука, 1965. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/thermodynamics.htm>
3. Левич В.Г. Введение в статистическую физику (2-е изд.) М.: ГИТТЛ, 1954. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/statphys.htm>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

<http://www.unn.ru/books/resources.html>

<http://e-learning.unn.ru/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ 01.03.02 Прикладная математика и информатика.

Автор: к.ф.-м.н., доцент кафедры прикладной математики А.Г. Панасенко

Рецензент: д.т.н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева Ломакина Л.С.

Заведующий кафедрой прикладной математики: д.ф.-м.н. М.В. Иванченко

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики

от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.